

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Návrh způsobu řízení světelné křižovatky pomocí simulace

Signalized Intersection Directing by Using Simulation Proposal

Student:

Bc. David TVRDÝ

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Michal DORDA, Ph.D.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Ústav dopravy

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Tvrď**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2301T003 Dopravní technika a technologie**
Specializace: **30 Technologie dopravy**
Téma: **Návrh způsobu řízení světelné křižovatky pomocí simulace
Signalized Intersection Directing by Using Simulation Proposal**

Zásady pro vypracování:

Obsah práce:

1. Úvod.
2. Charakteristika vybrané křižovatky.
3. Analýza vstupních údajů pro potřeby simulace.
4. Návrh simulačního modelu.
5. Provedené experimenty.
6. Nastavení simulačního plánu.
7. Zhodnocení dosažených výsledků.
8. Závěr.

Rozsah práce: min. 30 stran textu mimo přílohy

Cíl práce: Navrhnout na základě simulačních experimentů s modelem vybrané křižovatky sestaveným v simulačním software Witness způsob řízení světelné křižovatky a porovnat jej se stávajícím stavem.

Seznam doporučené odborné literatury:

Technické podmínky TP 81 - Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu.
Brno: Centrum dopravního výzkumu, 1996, 111 s. ISBN 80-902141-2-6.
Manuál k simulačnímu software Witness.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Dorda**

Datum zadání: **18.12.2009**
Datum odevzdání: **21.05.2010**




doc. Ing. Vladimír Šimr, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení diplomanta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 24. května 2010

Bc. David Tvrđý

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo;

- беру на ве́домии, же Высoкá škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3);

- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO;

- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;

- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);

- беру на ве́домии, же odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 24. května 2010

.....

David Tvrďý

Adresa trvalého pobytu studenta:

Lipová 713/301A, 747 16 Hať

Poděkování

Poděkování bych chtěl vyjádřit především vedoucímu diplomové práce Ing. Michalovi Dordovi, Ph.D., za vstřícnost, trpělivost a čas, který mi věnoval při konzultacích, Ing. Miroslavovi Laštůvkovi z Ostravských komunikací, a.s. Ostrava za cenné podklady a odbornou konzultaci.

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Tvrdý, D. Návrh způsobu řízení světelné křižovatky pomocí simulace. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 77 str. Diplomová práce, vedoucí: DORDA M.

Cílem předložené diplomové práce je vytvoření modelu světelně řízené křižovatky v simulačním softwaru WITNESS. Práce se skládá z několika částí. První část práce se zabývá definováním problému, charakteristikou zadané křižovatky a popisem současného stavu řízení. V druhé části je popsáno sestavení modelu včetně validace. V třetí části jsou uvedeny provedené experimenty na tomto modelu. V poslední části jsou zhodnoceny výsledky včetně závěrů, které z těchto výsledků vyplývají.

ANNOTATION OF THESIS

Tvrdý, D. Signalized Intersection Directing by Using Simulation Proposal. Ostrava: Institute of Transport, Faculty of mechanical Engineering, VŠB – Technical university Ostrava, 2010, 77p., Thesis, head: DORDA M.

The main goal of a presented graduation theses is to create a model of traffic light operated crossing in simulating software WITNESS. The theses have several parts. There is a problem definition, characteristic of the designated crossing and a current statement of operating description in the first part. The description of creating the model including validation is presented in the second part of our work. There are experiments realized on this model in the third part. Enclosing part of our theses contents results with their evaluation including conclusion as a result of our accomplishment.

Obsah diplomové práce

Seznam použitého značení, zkratk a termínů	9
1 ÚVOD	10
2 CHARAKTERISTIKA VYBRANÉ KŘIŽOVATKY	11
2.1 Principy dispozičního uspořádání křižovatek	14
2.2 Signalizační zařízení	16
2.3 Lokalizace křižovatky	19
2.4 Uspořádání křižovatky	20
2.5 Situační schéma	21
2.6 Popis křižovatky	22
3 ANALÝZA VSTUPNÍCH ÚDAJŮ PRO POTŘEBY SIMULACE	26
3.1 Stávající signální plán P5	26
3.2 Dopravní průzkum	27
4 NÁVRH SIMULAČNÍHO MODELU	30
4.1 Využití simulačního programu Witness	30
4.2 Simulační software Witness	30
4.3 Základní prvky softwaru Witness	32
4.4 Model křižovatky	35
4.5 Validace modelu	41
5 PROVEDENÉ EXPERIMENTY	43
5.1 Vlastní návrh	44
5.2 Výsledky experimentů	49
5.2.1 Varianta č. 1 – Minimalizace průměrného zdržení vozidla pro délku cyklu 120 sekund	49
5.2.2 Varianta č. 2 – Minimalizace průměrného zdržení vozidla při „neomezené“ délce cyklu	51
5.2.3 Varianta č. 3 - Minimalizace průměrného zdržení vozidla pro vlastní návrh a délku cyklu 120 sekund	53
5.2.4 Varianta č. 4 – Minimalizace průměrné délky fronty pro délku cyklu 120 sekund ..	55
5.2.5 Varianta č. 5 - Minimalizace průměrné délky fronty při „neomezené“ délce cyklu	57
5.2.6 Varianta č. 6 - Minimalizace průměrné délky fronty vozidla pro vlastní návrh a délku cyklu 120 sekund	59
5.2.7 Varianta č. 7 – Maximalizace propustnosti křižovatky při délce cyklu 120 sekund .	61

5.2.8	Varianta č. 8 – Maximalizace propustnosti křižovatky při „neomezené“ délce cyklu .	63
5.2.9	Varianta č. 9 – Maximalizace propustnosti křižovatky pro vlastní návrh a délku cyklu 120 sekund	65
6	SESTAVENÍ SIGNÁLNÍHO PLÁNU	68
6.1	Signální plány	68
7	ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	72
7.1	Úvaha o ekonomické výhodnosti - Varianta 1	75
8	ZÁVĚR	77
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	78
	SEZNAM PŘÍLOH	80

Seznam použitého značení, zkratek a termínů

a.s.	.....	Akciová společnost
CAD	.....	Počítačová podpora konstruování
č.	.....	Číslo
ČR	.....	Česká republika
ČSN	.....	Česká státní norma
ČSN EN	.....	Evropské normy
d_v	.....	Délka vozidla [m]
EU	.....	Evropská unie
FIFO	.....	Řádný frontový režim
I	.....	Intenzita určitého dopravního směru [j.v./h]
j.v.	.....	Jednotkové vozidlo
L	.....	Jízdní pruh umožňující odbočení vlevo
LIFO	.....	Frontový režim, kdy poslední příchozí součást jde první do obsluhy
l_n	.....	Najížděcí dráha [m]
l_p	.....	Délka řadícího pruhu [m]
l_v	.....	Vyklizovací dráha [m]
l_{voz}	.....	Délka vyklizujícího vozidla [m]
P	.....	Jízdní pruh umožňující odbočení vpravo
S	.....	Jízdní pruh umožňující jízdu rovně
Sb.	.....	Sbírka
t_b	.....	Bezpečnostní doba [s]
t_m	.....	Mezičas [s]
t_n	.....	Najížděcí doba [s]
TP	.....	Technické podmínky
t_v	.....	Vyklizovací doba [s]
v_n	.....	Rychlost najížděcího vozidla [$m.s^{-1}$]
VOZ.	.....	Vozidlo
v_v	.....	Rychlost vyklizujícího vozidla [$m.s^{-1}$]

1 ÚVOD

Silniční doprava představuje pro většinu z nás možnost snadného, rychlého a pohodlného přesunu mezi libovolně zvolenými místy za účelem práce, obchodu, studia či zábavy. Silniční doprava se stala pro nás také symbolem pokroku, charakterizovaným stále bezpečnějšími a rychlejšími automobily se stále komfortnější výbavou. Téměř 63 % [1] obyvatel u nás je majitelem řidičského průkazu. Mnoho lidí si už svůj život bez osobního automobilu ani nedokáže představit.

Prudký a neočekávaný nárůst intenzit automobilové dopravy byl v posledních letech zapříčiněn souhrou několika faktorů, které se navzájem sčítají. Došlo k nárůstu počtu registrovaných osobních vozidel, celorepublikově došlo ke zvýšení počtu lehkých nákladních vozidel, k zvýšení počtu zahraničních těžkých nákladních vozidel pohybujících se po dálniční a silniční síti České republiky v souvislosti se vstupem České republiky do Evropské unie a k výraznému přesunu podnikové nákladní dopravy na dopravu komerční, čímž dochází k nárůstu proběhu nákladních vozidel.

V důsledku toho se každé větší město potýká s problémy s dopravní situací. Špatnou dopravní situaci řeší mnoho měst světelným signalizačním zařízením. Jelikož ramena křižovatek mají svou maximální průjezdnost, řízení dopravy se při velkých intenzitách nemůže vyhnout vytváření kolon. V době narůstající intenzity dopravy nabývá otázka posuzování kapacity komunikační sítě na významu. Intenzita dopravy je dána skutečně naměřeným počtem vozidel, která daným místem komunikace projedou za určitý časový interval.

Tato práce se zabývá modelováním světelně řízené křižovatky č. 1015 28. října x Výstavní x Novinářská, která se nachází na území města Ostravy. Základní problém na této křižovatce je velmi problematické odbočování vlevo z ulice Novinářské a Výstavní při společné vozidlové fázi. K vyklizení křižovatky mají vozidla k dispozici pouze mezičas, což zejména v době dopravní špičky bývá nedostačující.

Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu se nejčastěji provádí podle Technických podmínek Ministerstva dopravy ČR č. TP 81 „Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu“. Pro návrh signálního plánu světelného signalizačního zařízení však existuje celá řada dalších metod. Příkladem mohou být například lineární matematické modely, které za daných omezení najdou optimální řešení.

Cílem této práce je pomocí simulačního programu Witness sestavit simulační model vybrané křižovatky a nalézt vhodnější řešení pro světelné řízení této křižovatky.

2 CHARAKTERISTIKA VYBRANÉ KŘÍŽOVATKY

Diplomová práce se zabývá problematikou křižovatek a jejich řízení, věnujme se tedy nejdříve základním pojmům z této oblasti.

Definice křižovatky

Křižovatka je místo, v němž se pozemní komunikace v půdorysném průmětu protínají nebo stýkají a alespoň dvě z nich jsou vzájemně propojeny. Za křižovatku se nepovažuje připojení lesních a polních cest, sjezdy k nemovitostem a připojení obslužných dopravních zařízení (čerpací stanice, parkoviště, ...) [2].

Křížení je místo, v němž se pozemní komunikace v půdorysném průmětu protínají, aniž jsou vzájemně propojeny, nebo místo, v němž se pozemní komunikace v půdorysném průmětu protíná s drážní komunikací (mimoúrovňové křížení dálnice se silnicí či polní cestou, železniční přejezdy,...) [2].

Základní rozdělení křižovatek:

a) úrovňové křižovatky – komunikace se protínají v jedné úrovni:

- bez určení přednosti v jízdě,
- s určením přednosti v jízdě,
- se světelnou signalizací.

b) mimoúrovňové křižovatky – komunikace se protínají ve dvou nebo více úrovních:

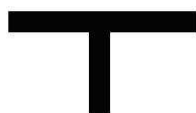
- s křížnými body, na nichž v některé části mimoúrovňové křižovatky jsou místa fungující jako úrovňové křižovatky s křížnými body a řešení zahrnuje jen jedno přemostění,
- s průpletovými body na křižovatce nejsou žádné křížné body, ale používá se průpletů, na které musí být průpletové úseky délkově i šířkově navrženy a posouzeny; u některých vzorů křižovatek lze pro průpletový návrh použít oddělených kolektorových pásů, nepojížděných už vozidly, které se průpletu neúčastní,
- bez průpletových úseků, ale s vratnými větvemi (bez křížných bodů),

c) kombinované křižovatky.

Rozdělení úrovnových křižovatek:

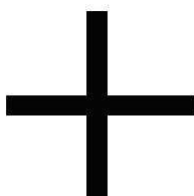
1. Podle počtu ramen:

- a) křižovatky stykové - tříramenné křižovatky (viz obr. č. 2.1), na které je jedna komunikace průběžná a druhá v místě křižovatky začíná nebo končí. Styková křižovatka může být kolmá nebo šikmá,



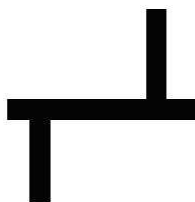
Obr. č. 2.1: Tvar stykové křižovatky [3]

- b) křižovatky průsečné – čtyřramenné křižovatky (viz obr. č. 2.2), které jsou tvořeny dvěma průběžnými komunikacemi,



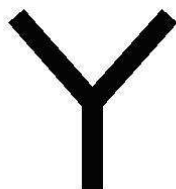
Obr. č. 2.2: Tvar průsečné křižovatky [3]

- c) křižovatky odsazené - čtyřramenné křižovatky, které vzniknou seskupením dvou stykových křižovatek nebo stykové a průběžné křižovatky v bezprostřední blízkosti – viz obr. č. 2.3,



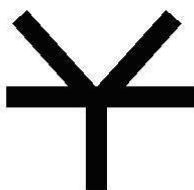
Obr. č. 2.3: Tvar odsazené křižovatky [3]

- d) křižovatky vidlicové - tříramenné křižovatky, na které se pozemní komunikace rozvětvují do dvou samostatných těles odchylovících se od původního směru (viz obr. č. 2.4). Mají zpravidla stejný dopravní význam,



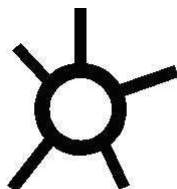
Obr. č. 2.4: Tvar vidlicové křižovatky [3]

- e) křižovatky hvězdicové – jsou křižovatky, do nichž vstupuje 5 nebo více paprsků – viz obr. č. 2.5,



Obr. č. 2.5: Tvar hvězdicové křižovatky [3]

- f) křižovatky okružní – jsou tří a víceramenné křižovatky se středícím ostrovem kruhového tvaru – viz obr. č. 2.6,



Obr. č. 2.6: Tvar okružní křižovatky [3]

2. Podle stupně usměrnění:

- a) Neusměrněné (prosté):

Jsou takové křižovatky, na nichž nejsou dopravní směry rozčleněny do jednotlivých jízdních směrů (stavební úpravy, vodorovné nebo svislé dopravní značení).

b) Částečně usměrněné:

Jsou takové křižovatky, na nichž jsou vybrané dopravní směry rozděleny do jednotlivých jízdních směrů pomocí stavebních úprav nebo pomocí vodorovných či svislých dopravních značek:

- s dělicím ostrůvkem na vedlejší komunikaci,
- s řadícím pruhem pro odbočení vlevo,
- s řadícím pruhem pro odbočení vpravo,
- s přípojovacím pruhem při vyšších intenzitách.

c) Usměrněné:

Jsou takové křižovatky, kde je stavebními úpravami a dopravními značkami přesně vymezen dopravní pohyb všech dopravních proudů.

2.1 Principy dispozičního uspořádání křižovatek

Vzhledem k zajištění základní funkce křižovatky a zejména minimálního ovlivňování nejdůležitějších proudů projíždějících křižovatkou je stanoveno pět základních principů dispozičních řešení křižovatky [4].

Těchto pět základních principů bylo zpracováno Technickým výborem Světové silniční asociace pro návrh norem pro mezinárodní síť evropských silnic (dálnic a rychlostních silnic), ale jsou doporučovány také pro mimoúrovňové křižovatky na jiných komunikacích. Jsou zpracovány všeobecným způsobem, aniž se projektantovi předepisují strohé technické normy.

Princip A - Volba typu a geometrických prvků podle intenzity dopravy,

Princip B - Odbočování dopravních proudů nemá významně snižovat rychlost v průběžném směru,

Princip C - Při připojování dopravních proudů je třeba zajistit řádný rozhled zpět i vpřed,

Princip D - Průpletové úseky (krátkého typu) mimo průběžné jízdní pásy,

Princip E - Na hlavním směru jen jeden odbočný a jeden přípojný bod.

- Princip A [4]

Je ze všech pěti uvedených principů nejdůležitější. Vyjadřuje hlavní dopravně inženýrskou zákonitost, že komunikace slouží dopravě, a proto jí, a tedy především její nejsilnějším směrům má být přizpůsobena. Posouzení četných případů z naší i zahraniční praxe ukazuje, že tento princip není vždy respektován. Při volbě typu křižovatky je třeba potlačit snahu o symetričnost řešení.

- Princip B [4]

Doporučuje odbočování proudů z hlavního směru tak, aby odbočování nerušilo proud vozidel na hlavním průběžném tahu. Tato zásada je především zajištěna odbočovacím pruhem a vyřazovacím a zpomalovacím úsekem. Princip B je doplněn doporučením, že se odbočování provádí obvykle vpravo: zároveň se doporučuje provést při zvláštním uspořádání křižovatky s odbočováním vlevo podrobné rozborové tohoto individuálního řešení.

- Princip C [4]

Princip se týká připojování dopravních proudů. Protože tento manévr je nebezpečnější než odbočování, vyžaduje řádný rozhled. S tím souvisí i doporučovaný způsob připojování zprava k hlavnímu proudu. Viditelnost z vozidla s levostranným řízením je lepší vlevo, a proto je žádoucí, aby řidič napojující se na hlavní proud a hledající vhodnou mezeru, byl vpravo od hlavního proudu.

- Princip D [4]

Princip se týká vyloučení průpletů na jízdním pásu v hlavním, průběžném směru. Jde o nejčastější případ u starých typů čtyřlístkových křižovatek. U tohoto typu je řešení realizováno přidáním souběžného kolektorového pásu, který je fyzicky oddělen od průběžných proudů, na němž je možno dosáhnout stejné rychlosti proplétajících se vozidel. To je jedna z podmínek úspěšné funkce průpletového úseku. U komunikací nejvyššího významu se doporučuje průpletový úsek v křižovatce zcela potlačit. Vyloučit průpletové úseky je možno použitím složitější útvary křižovatky.

- Princip E [4]

Princip E doplňuje princip D, princip doporučuje, aby na hlavním tahu byl v křižovatce pouze jeden bod odbočný a jeden přípojný.

2.2 Signalizační zařízení

Historie [16]

Mechanická a později světelná návěstidla se zpočátku používala v železniční dopravě. Signály pro řízení provozu na jednokolejných tramvajových tratích a splítkách se začaly používat mnohem dříve než pro řízení silničního nebo tramvajového provozu na uličních křižovatkách. Od roku 1911 bylo zaváděno drážní světelné signalizační zařízení Elektrických podniků hlavního města Prahy na jednokolejkách a splítkách.

V počátcích se užívalo jedno čtyřboké návěstidlo zavěšené uprostřed nad křižovatkou, které platilo pro vozidla ze všech směrů i pro chodce. Obvyklejším způsobem řízení dopravy byly pokyny strážníka či policisty.

Modernější světelná signalizace se začala používat kolem roku 1967 v rámci dodávky moderních světelných signalizačních zařízení pro Prahu od firmy Signalbau Huber z Mnichova. V té době byly, nejprve v Praze, postupně zaváděny speciální světelné signály pro každé rameno křižovatky, pro chodce i pro tramvaje, a signály se směrovými šipkami. Od 1. ledna 1967 vstoupila v účinnost nová vyhláška č. 80/1966 Sb., o pravidlech silničního provozu, která poprvé zavedla speciální světelné signály pro chodce a směrové světelné signály. Signalizace pro tramvaje byla sice zaváděna současně, plně zlegalizována však byla asi o tři roky později.

Dnešní kodifikace [16]

V současné době technické požadavky na zařízení upravují převzaté evropské normy:

- ČSN EN 12368 Řízení dopravy na pozemních komunikacích – Zařízení příslušenství – Návěstidla,
- ČSN EN 12675 Řízení dopravy na pozemních komunikacích – Řadiče světelných signalizačních zařízení – Funkčně bezpečnostní požadavky.

Specifika České republiky upravují národní přílohy, které jsou součástí českých verzí těchto norem.

- ČSN 36 5601 Systémy silniční dopravní signalizace,
- „Zbytková“ ČSN 36 5601-1 Světelná signalizační zařízení. Technické a funkční požadavky. Část 1: Světelná signalizační zařízení pro řízení silničního provozu včetně základních požadavků na signální plán.

Podrobnější požadavky jsou uvedeny v technických podmínkách TP 81 Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení provozu na pozemních komunikacích, jejichž první vydání schválilo Ministerstvo dopravy v roce 1996 a druhé vydání v roce 2006.

Světelné signály

Význam signálů a související povinnosti účastníků provozu stanoví § 70 až § 74 zákona č. 361/2000 Sb., o silničním provozu, v platném znění. Podle § 24 a přílohy vyhlášky 30/2001 Sb. se užívají tyto signály:

Signály pro vozidla [17]

Význam signálů a související povinnosti účastníků provozu stanoví § 70 až § 74 zákona č. 361/2000 Sb., o silničním provozu, v platném znění. Podle § 24 a přílohy vyhlášky 30/2001 Sb. se užívají tyto signály:

- S1 Tříbarevná soustava s plnými signály.
- S2 Tříbarevná soustava se směrovými signály.
- S3 Tříbarevná soustava s kombinovanými směrovými signály.
- S4 Signál žlutého světla ve tvaru chodce (umístěná vedle signálu se zeleným směrovým signálem pro odbočení, případně i před přechodem, jehož se týká) upozorňuje řidiče, že křížuje směr chůze přecházejících chodců. Nepřerušované i přerušované svítící signál má stejný význam.
- S5 Doplnková zelená šipka (umístěná vedle signálu s červeným světlem *Stůj!*) - svítí-li současně s červeným nebo žlutým světlem, umožňuje pokračovat v jízdě příslušným směrem, řidič však musí dát přednost vozidlům ve volných směrech a nesmí omezit ani ohrozit přecházející chodce.
- S6 Signál pro opuštění křižovatky (tzv. vyklizovací šipka, umístěná v protilehlém rohu křižovatky).
- S7 Přerušované žluté světlo:
 - Signál s červeným světlem *Stůj!* znamená povinnost zastavit vozidlo před příčnou čarou, a kde taková čára není, před signalizačním zařízením. V případě použití dvoubarevné soustavy (bez žlutého světla) má červené světlo stejný význam jako samostatně svítící žluté světlo.

- Signál se současně svítícím červeným světlem a žlutým světlem *Pozor!* znamená povinnost připravit se k jízdě.
 - Signál se zeleným světlem *Volno* znamená možnost pokračovat v jízdě. Jde-li o signál se směrovým signálem nebo svítí-li pro odbočení vlevo Signál pro opuštění křižovatky, není třeba při příslušném odbočování dávat přednost protijedoucím vozidlům a souběžným tramvajím. Jde-li o signál *Volno!* se směrovým signálem a nesvítí-li současně signál žlutého světla ve tvaru chodce, není třeba při odbočování dávat přednost chodcům v kolizním směru.
 - Signál s nepřerušovaně svítícím žlutým světlem *Pozor!* má obdobný význam jako signál *Stůj!*. Je-li však při rozsvícení signálu vozidlo tak blízko, že by řidič nestačil zastavit, smí pokračovat v jízdě.
 - Svítí-li žluté světlo *Pozor!* přerušovaně, nejde momentálně o křižovatku s provozem řízeným světelnými signály. Je-li signál užit společně s dopravní značkou nebo dopravním zařízením, zdůrazňuje jejich význam. Je-li použit samostatně, upozorňuje na nutnost dbát zvýšené opatrnosti.
 - K zabezpečení vjezdu na pozemní komunikaci se někdy používá návěstidlo pouze s červeným a žlutým světlem (bez zeleného).
- S8a Zakázaný vjezd vozidel do jízdního pruhu.
 - S8b Volný vjezd vozidel do jízdního pruhu.
 - S8c Světelná šipka vlevo, S 8d Světelná šipka vpravo – příkazují opuštění jízdního pruhu nebo objetí překážky příslušným směrem.
 - S8e Světelný kříž – označuje překážku provozu vedle vozovky.
 - S12 Rychlostní signály s proměnným signálním znakem nebo s více signálními znaky vyznačují doporučenou rychlost v km/h.
 - S13 Signál dvou vedle sebe umístěných přerušovaných červených světél - má obdobný význam jako červené světlo dvoubarevné soustavy.
 - S14 Signály přejezdového zabezpečovacího zařízení.

Akustické signály [17]

Doprovodné akustické signály podle § 25 vyhlášky č. 30/2001 Sb. v novelizovaném znění se používají:

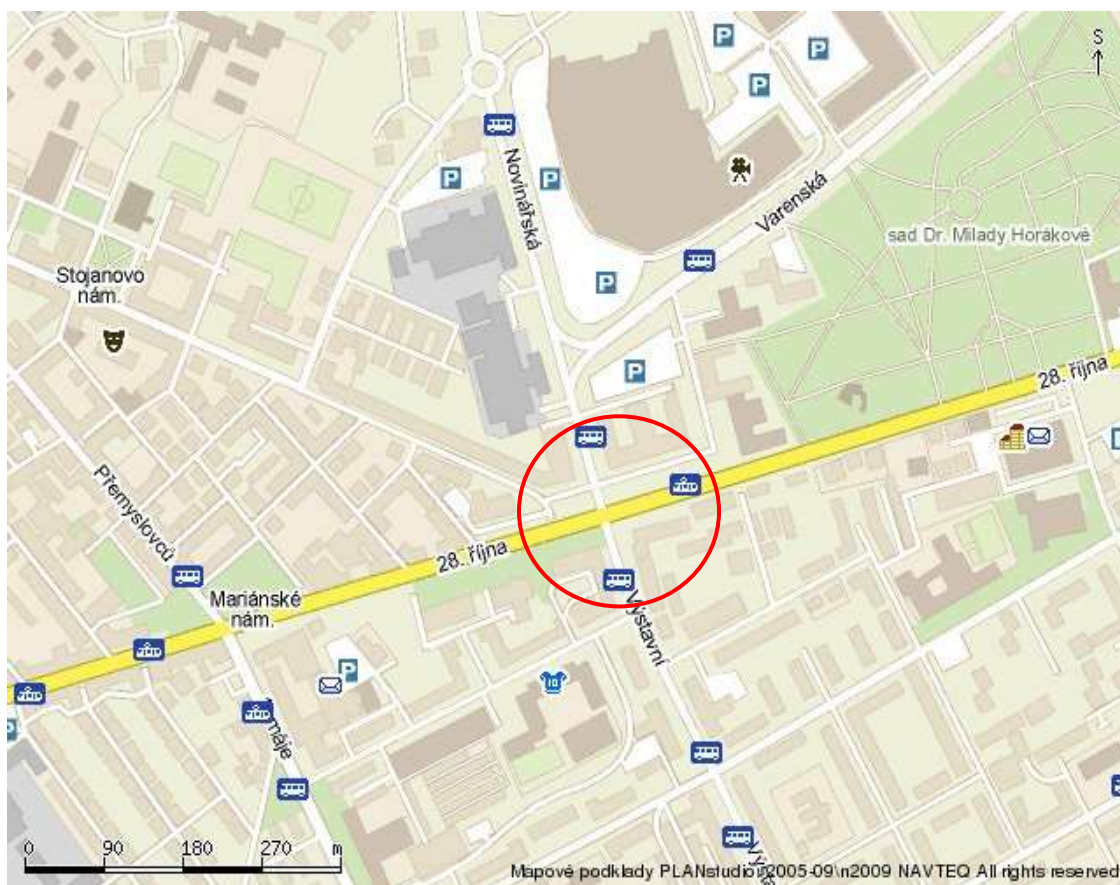
- k orientaci nevidomých společně se světelnými signály pro chodce nebo pro chodce a cyklisty,
- společně se signálem dvou přerušovaně svítících červených světel na železničním přejezdu.

Signály pro chodce se vyjadřují tikáním přerušovaně spínaného relé nebo tónovými pulzy o kmitočtu 450 až 550 Hz. Frekvence tikání nebo přerušování je cca 1,5 Hz pro signál Stůj!, cca 8 Hz pro signál Volno. Na některých přechodech musí nevidomý ke spuštění akustické signalizace stisknout tlačítko nebo ji aktivovat univerzálním dálkovým ovládáním.

Akustické signály přejezdového zabezpečovacího zařízení na křížení železnice s pěší komunikací musí mít charakter krátkých tónových impulsů o frekvenci 900 až 1100 Hz.

2.3 Lokalizace křižovatky

Na řešené křižovatce č. 1015 se kříží místní komunikace I. třídy ulice Novinářská, místní komunikace I. třídy ulice Výstavní a místní komunikace I. třídy 28. října. Silnice 28. října pokračuje z centra města na městskou část Mariánské hory a Poruba. Křižovatka je ve správě Ostravských komunikací, a.s.



Obr. č. 2.7: Poloha křižovatky [4]

Křižovatka 28. října – Novinářská – Výstavní se nachází na území statutárního města Ostravy - městský obvod Moravská Ostrava a Přívoz. V těsné blízkosti křižovatky je obchodní centrum. Umístění křižovatky je zobrazeno na obr. č. 2.7.

Přes danou křižovatku provozuje své linky Dopravní podnik Ostrava a.s. Projíždí zde jak autobusové a tramvajové linky městské hromadné dopravy.

Tato křižovatka je důležitou spojnici přilehlých, ale také vzdálenějších městských částí, se samotným centrem města. Je zde důležité napojení obcí na ostatní pozemní komunikace vedoucí do vzdálených měst a sídel. Na křižovatku je kladen důraz na plynulou a bezpečnou jízdu motorových vozidel.

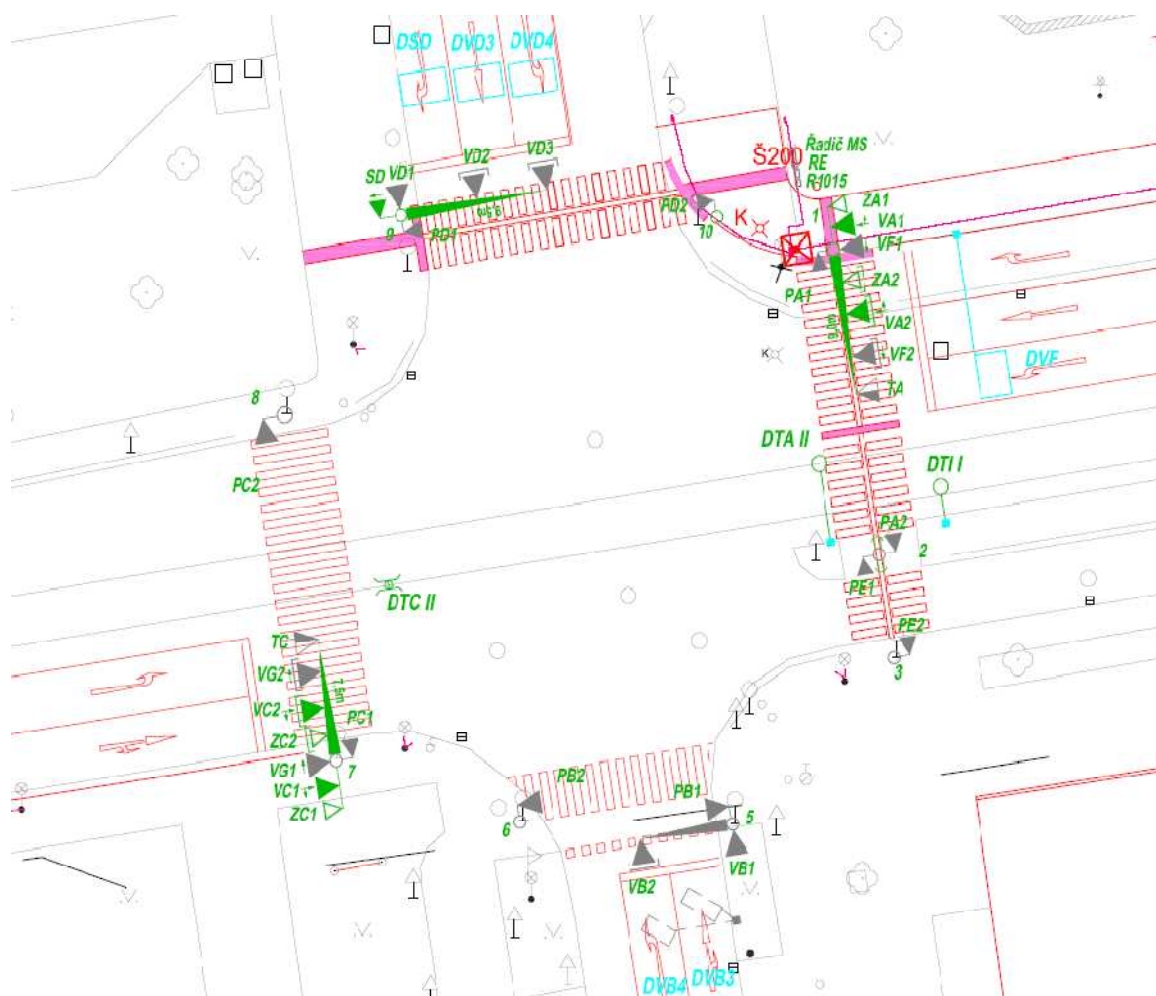
2.4 Uspořádání křižovatky

Řešenou křižovatku lze klasifikovat z mnoha hledisek. Jedná se o úroňovou křižovatku. Z pohledu počtu ramen jde o průsečnou, čtyřramennou křižovatku. Daná křižovatka je z hlediska usměrnění dopravy usměrněná. Na křižovatce je pomocí vodorovného dopravního značení vymezen možný pohyb všech dopravních proudů. Na této křižovatce se nacházejí čtyři přechody pro chodce.

V současné době je provoz na křižovatce řízen pomocí světelného signalizačního zařízení. V době poruchy a v nočních hodinách pomocí dopravních značek podle zákona o provozu na pozemních komunikacích Zákon č. 361/2000 Sb.

2.5 Situační schéma

Na situačním schématu na obr. č. 2.8 je vyobrazena řešená křižovatka. Jsou zde zaznačeny světelná návěstidla a vodorovné dopravní značení. Práce se zabývá modelováním křižovatky pouze z hlediska vozidlových proudů, proto návěstidla pro chodce nejsou dále popisována.



Obr. č. 2.8: Situační schéma dané křižovatky

2.6 Popis křižovatky

Ulice 28. října je ve směru od městské části Poruba rozdělena do dvou jízdních pruhů viz obr. č. 2.9 a obr. č. 2.10. První jízdní pruh umožňuje odbočení z ulice 28. října na ulici Výstavní nebo jízdu v přímém směru do centra města. V signálním plánu jsou tyto směry značeny zkratkou „VC“. Součástí této větve je i tramvajový pás, který je v signálním plánu označen „TC“. Druhý pruh poskytuje možnost odbočení z ulice 28. října na ulici Novinářskou. V signálním plánu je značen zkratkou „VG“. Na tomto rameni se nachází jeden výložník, se čtyřmi návěstidly sloužícími k řízení silniční dopravy a jedno návěstidlo sloužící k řízení tramvají. Jsou zde taky dvě návěstidla upozorňující řidiče odbočující vpravo na chodce.



Obr. č. 2.9: Ulice 28. října - směr od Poruby



Obr. č. 2.10: Ulice 28. října – směr od Poruby - čekající vozidla

Ulice 28. října je tvořena ve směru z centra města ze tří jízdních pruhů. Jeden pruh umožňuje odbočení vpravo na ulici Novinářskou ve směru na obchodní centrum. Další přímý směr dále pokračuje po ulici 28. října směrem na městskou část Mariánské hory,

Svinov a Poruba. V signálním plánu jsou uvedeny zkratkou „VA“. Součástí této větve je i tramvajový pás, který je v signálním plánu označen jako „TC“. Poslední pruh slouží k odbočení na ulici Výstavní. V signálním plánu je tato možnost vedena pod zkratkou „VF“. Na tomto rameni se nachází jeden výložník se čtyřmi návěstidly sloužícími k řízení silniční dopravy a jedno návěstidlo sloužící k řízení tramvají. Jsou zde taky dvě návěstidla upozorňující řidiče odbočující vpravo na chodce. Na obr. č. 2.11 jsou vidět čekající vozidla. Na obr. č. 2.12 je pohled na návěstidlo, které je umístěno na ulici 28. října. Ulice 28. října je hlavní ulicí.



Obr. č. 2.11: Ulice 28. října - směr z centra



Obr. č. 2.12: Ulice 28. října – směr z centra - řadící pruhy

Ulice Novinářská je rozdělena do tří samostatných pruhů viz obr. č. 2.13. Jeden pruh je vyhrazen pro přímý směr na ulici Výstavní. Druhý pruh slouží k odbočení na ulici 28. října ve směru do centra města. Poslední pruh slouží k odbočení na ulici 28. října

ve směru na městskou část Poruba. Všechny tři možnosti jsou v signálním plánu jednotně uvedeny pod zkratkou „VD“. Na tomto rameni se nachází jeden výložník se třemi návěstidly viz obr. č. 2.14.



Obr. č. 2.13: Ulice Novinářská



Obr. č. 2.14: ulice Novinářská – čekající vozidla

Ulice Výstavní je rozdělena do dvou jízdních pruhů viz obr. č. 2.15. První pruh umožňuje odbočení na ulici 28. října ve směru na centrum města nebo jízdu v přímém směru na ulici Výstavní. Druhý pruh slouží k odbočení vlevo na ulici 28. října ve směru na Porubu. V signálním plánu jsou uvedeny zkratkou „VB“. Na tomto rameni se nachází jeden výložník se dvěma návěstidly sloužící k řízení silniční dopravy. Na obr. č. 2.16 je zachycena kolona vozidel čekajících před křižovatkou.



Obr. č. 2.15: Ulice Výstavní



Obr. č. 2.16: Ulice Výstavní – parkující vozidla

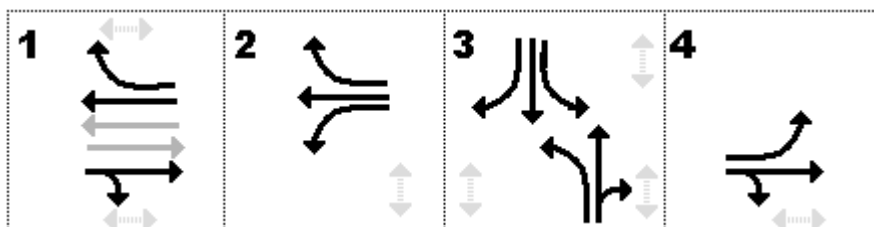
3 ANALÝZA VSTUPNÍCH ÚDAJŮ PRO POTŘEBY SIMULACE

Popisovaná křižovatka je řízena pomocí několika signálních plánů. V této práci je řešen pouze signální plán P5 s délkou cyklu 120 sekund.

Vstupními podklady při zpracování návrhu světelné signalizace jsou:

- dopravní průzkum,
- situační schéma.

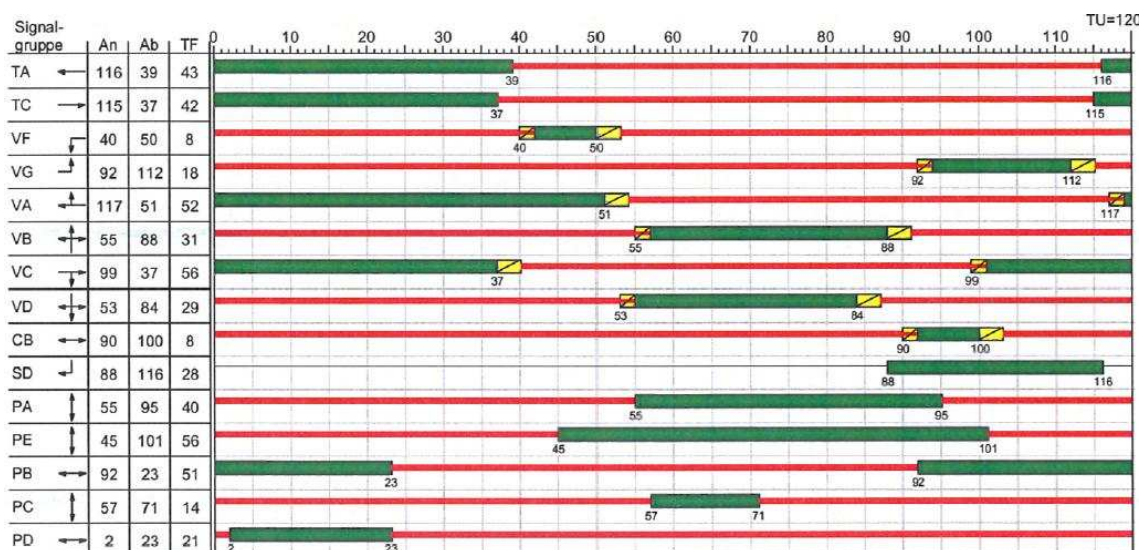
Řešená křižovatka je sice za účelem vyšší efektivity řízena dynamicky, ale základem pro dynamické řízení je pevný signální plán, který bude v práci posuzován. Cyklus je rozdělen do čtyř fází. Tyto fáze jsou znázorněny na obr. č. 3.1.



Obr. č. 3.1: Stávající fázové schéma

3.1 Stávající signální plán P5

Signálním plánem P5, který je znázorněn na obr. č. 3.2, je křižovatka řízena v pracovní dny od 13:30 do 16:00. Křižovatka není v koordinaci s žádnou další křižovatkou [5].



Obr. č. 3.2: Stávající signální plán P5

3.2 Dopravní průzkum

Dopravní průzkumy jsou nezbytnou součástí dopravního plánování, projektování a modernizování křižovatek.

Pomocí dopravních průzkumů se zjišťují intenzity provozu na dané komunikaci nebo křižovatce. Dále se sleduje směr jejich pohybu, případně i složení dopravního proudu. Za účelem zjištění intenzit byla získána data z detekčních smyček zabudovaných do vozovky v prostoru křižovatky.

Popis místa měření:

Cíl měření	Intenzita dopravních proudů [6]
Město	Ostrava; Moravská Ostrava a Přívoz
Místo měření	Křižovatka 28. října – Novinářská – Výstavní
Datum měření	15. týden 2009 (7. - 9.4. 2009), 21. týden 2009 (19. - 21.5. 2009), 38. týden 2009 (15. - 17.9. 2009), 43. týden 2009 (20. - 22.10. 2009), úterý - čtvrtek, běžný pracovní den
Čas měření	13:30 – 16:00

Pro potřeby simulace je nutné z těchto dílčích hodnot vypočítat průměrnou hodnotu pro daný směr za sledované období. Výsledné hodnoty pro potřeby simulace jsou zobrazeny v následující tabulce č. 3.1.

Tab. č. 3.1: Průměrné intenzity pro potřeby simulace

Průměrný počet vozidel [voz/10 min]										
Čas	28. října od Centra			Novinářská			28. října od Poruby		Výstavní	
	P	S	L	P	S	L	P+S	L	P+S	L
(13:30-13:40)	20	69	10	33	61	19	88	27	56	14
(13:40-13:50)	25	70	12	33	58	17	93	29	54	14
(13:50-14:00)	21	71	10	33	60	18	94	29	55	12
(14:00-14:10)	25	79	12	35	59	19	100	32	61	14
(14:10-14:20)	22	76	10	35	56	15	92	32	67	15
(14:20-14:30)	25	78	10	35	60	16	93	32	67	14
(14:30-14:40)	26	80	10	35	58	17	96	29	64	15
(14:40-14:50)	24	78	11	35	58	18	97	29	61	14
(14:50-15:00)	26	73	10	36	65	18	99	30	64	16
(15:00-15:10)	22	79	11	35	70	20	100	31	69	17
(15:10-15:20)	25	82	11	41	67	18	96	30	65	13
(15:20-15:30)	25	80	11	33	63	18	99	32	61	14
(15:30-15:40)	26	77	9	38	64	18	96	33	63	15
(15:40-15:50)	27	79	10	34	63	18	100	32	64	14
(15:50-16:00)	25	77	9	36	63	17	94	33	57	15

Průměrné hodnoty byly vypočteny z hodnot pro jednotlivé dny, které jsou k nalezení v příloze č. 1.

K zjištění poměru zatížení mezi jednotlivými rameny byl vytvořen graf zatížení křižovatky. Tento graf je zobrazen na obr. č. 3.3.

Poměr zatížení křižovatky



Obr. č. 3.3: Zatížení křižovatky

Pro pozdější rozlišení typu vozidel byl proveden doplňkový dopravní průzkum s cílem získat složení dopravních proudů. Pro potřeby simulace byly vytvořeny dvě kategorie s ohledem na různé vstupní časy vozidel, které jsou uvedené v technických podmínkách [8]. První kategorií jsou osobní vozidla, těm odpovídají všechna vozidla s celkovou hmotností do 3,5 tuny. Do druhé kategorie označené jako „ostatní“ spadají všechny ostatní druhy dopravních prostředků. Motocykly jsou zařazeny do kategorie osobní vozidla. Počty vozidel v jednotlivých kategoriích jsou uvedeny v tabulce č. 3.2 a v tabulce č. 3.3.

Popis místa měření:

Cíl měření	Složení dopravních proudů
Město	Ostrava, Moravská Ostrava a Přívoz
Místo měření	Křižovatka 28. října - Novinářská - Výstavní
Datum měření	10. března 2010
	Středa, běžný pracovní den
Čas měření	13:30 – 16:00
Měřící	Tvrдый David

Tab. č. 3.2: Složení dopravního proudu – ulice 28. října

Průzkum složení dopravního proudu					
	28. října od Centra			28. října od Poruby	
	P	S	L	P+S	L
Osobní vozidla [voz/150 min]	365	1115	143	1359	457
Ostatní [voz/150 min]	0	31	12	77	4
Celkem [voz/150 min]	365	1146	155	1436	461
Procento ostatních	0.00%	2.71%	7.73%	5.36%	0.87%

Tab. č. 3.3: Složení dopravního proudu – ulice Novinářská, Výstavní

Průzkum složení dopravního proudu					
	Novinářská			Výstavní	
	P	S	L	P+S	L
Osobní vozidla [voz/150 min]	519	852	259	888	197
Ostatní [voz/150 min]	7	73	6	38	19
Celkem [voz/150 min]	526	925	265	926	216
Procento ostatních	1.33%	7.89%	2.27%	4.10%	8.78%

Přestože mají na ulici 28. října (hlavní ulice) zakázán vjezd nákladní vozidla, jak je patrné i z obr. č. 3.4, je nutné do průzkumu zahrnout i tento směr z důvodu povolení vjezdu vozidel za účelem zásobování a autobusů směřujících na nedaleké autobusové nádraží.



Obr. č. 3.4: Značka zakazující jízdu

4 NÁVRH SIMULAČNÍHO MODELU

K modelování této křižovatky bude použit simulační software Witness. Witness je software pro simulaci a optimalizaci výrobních, obslužných a logistických systémů.

4.1 Využití simulačního programu Witness

Základní vlastnosti simulačního prostředí Witness:

- intuitivnost ovládání (standardy prostředí Microsoft),
- možnost zapouzdření aplikace,
- spolupráce s jinými technologiemi standardu Microsoft,
- existence integrovaných prvků (Witness Optimizer, integrace se systémy CAD a další),
- možnost použití expertních systémů ve spolupráci s modulární strukturou,
- v neposlední řadě operativní použití pro sledování systému v reálném čase a reakce na skutečný stav,
- pro praxi je důležitá možnost generického modelování z jiného prostředí

Witness lze využít v mnoha odvětvích lidské činnosti. Mezi nejrozšířenější oblasti, které využívají tohoto softwaru, patří:

- logistická analýza,
- organizace manipulace s materiálem,
- optimalizace širokého spektra výrobních a logistických procesů,
- analýza výrobních nákladů,
- analýza využití lidských zdrojů,
- modelování distribučních řetězců,
- podpora v nabídkových řízeních.

4.2 Simulační software Witness

Simulační modely programu Witness umožňují dynamicky zobrazovat pohyb materiálu či zákazníků systémem, stavy jednotlivých prvků, prováděné operace a aktuální využití zdrojů. V simulárním čase jsou zaznamenávány všechny události, které v modelu nastaly. Uživatel tak může sledovat dynamiku simulovaného systému (objektu)

a má k dispozici rovněž údaje potřebné k vyhodnocení daného procesu (objektu) podle zvolených kritérií.

Witness může být použit k analýze jakéhokoliv procesu, v němž je zapotřebí sledovat dopad navržených změn a podloženě kvantifikovat alternativy řešení. Kromě snadného vytváření modelů je velmi důležitá i možnost interaktivní práce s modelem. Umožňuje provádět analýzu, která využívá metodiky porovnávající dopady jednotlivých návrhů řešení navzájem. V praxi si tuto analýzu lze představit tak, že v libovolném čase lze simulaci zastavit, změnit parametry systému jako jsou například:

- velikosti zásobníků,
- počet pracovníků na směně,
- směrování materiálu

a poté v simulaci pokračovat, přičemž lze ihned sledovat důsledky provedených změn.

Stavba modelů se provádí v grafickém uživatelském prostředí. Na pracovní plochu uživatel vkládá objekty, kterým poté přiřazuje takové vlastnosti, aby dané objekty dohromady tvořily funkčně propojený systém. Vlastnosti jednotlivých objektů definuje uživatel tak, aby vytvořený model systému v maximální možné míře korespondoval s reálným systémem, který je předmětem simulace.

Mezi základní funkční prvky simulačního prostředí Witness patří:

- stroj (Machine),
- součást (Part),
- zásobník (Buffer),
- pracovník (Labor).

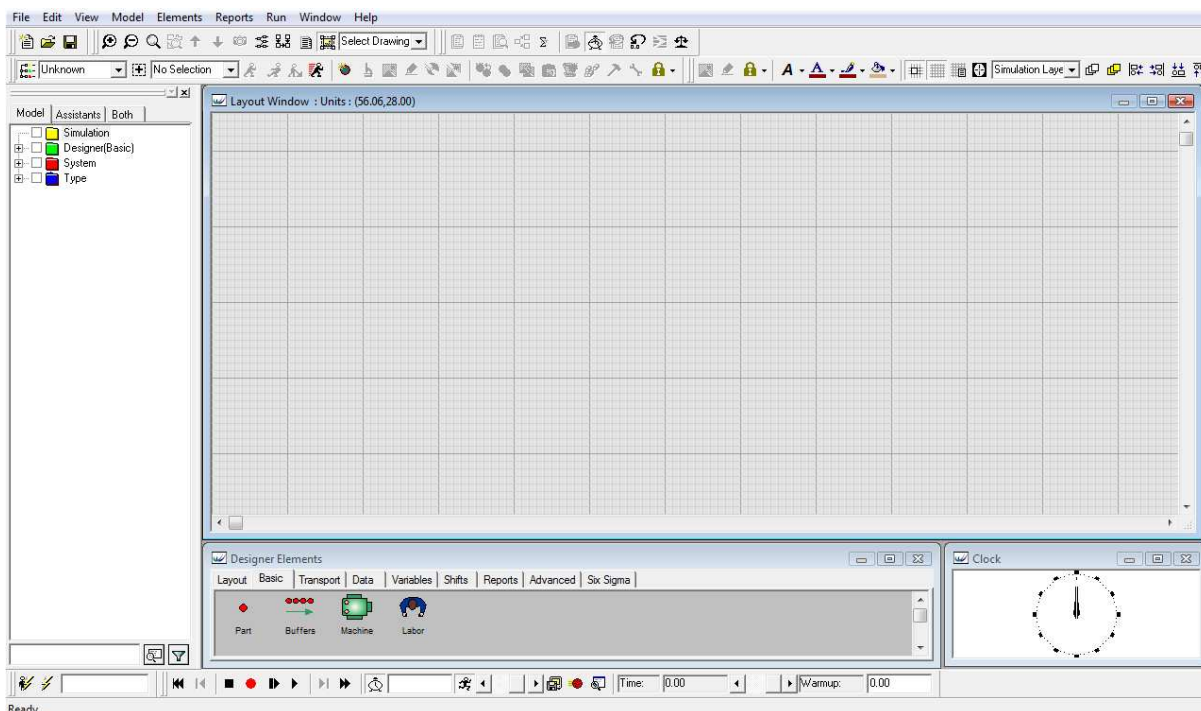
Prostředí Witness disponuje dále mnoha dalšími prvky, které napomáhají k realizaci modelu dle přesných zadávacích požadavků. Tyto prvky jsou specifické pro tvorbu určitých vlastností a napomáhají zmíněným základním funkčním prvkům k detailnímu programování zkoumaného systému.

Patří sem například:

- dopravník (Conveyor),
- proměnné všech datových typů,
- atributy, které mohou nést vlastnosti funkčního prvku součást (Part).

4.3 Základní prvky softwaru Witness

Každý objektově orientovaný simulační program se vyznačuje tím, že nabízí účelné prvky, kterými je realizována stavba simulačních modelů. Na obr. č. 4.1 je znázorněno prostředí simulačního softwaru Witness. Při modelování křižovatky byly použity především prvky typu stroj, součást a zásobník.



Obr. č. 4.1: Prostředí Witness

Stroj (machine)

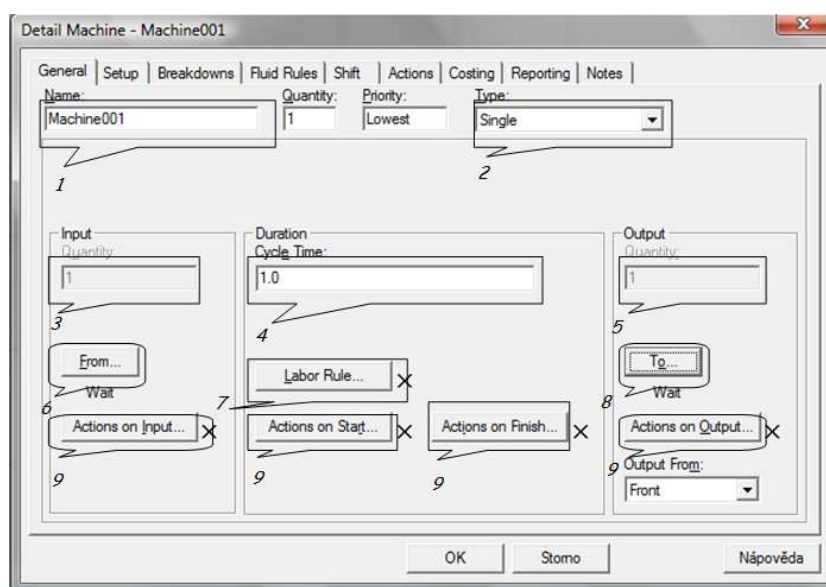
Prvek stroj (machine) je základním stavebním prvkem tohoto programového prostředí. Tento prvek umožňuje na základě uživatelem definovaných vstupních a výstupních pravidel (input, output rules) a řídících akcí (actions) vykonávat časově vyjádřenou činnost a být tak akčním členem simulačního modelu. Stroj vykonává svou činnost vždy na dalším z prvků – součást (part). Stroj nemůže realizovat žádnou ze svých definovaných činností bez součásti. Vstup součásti do stroje je řízen soustavou omezujících podmínek, které vstup součásti do stroje upravují. Pokud jsou tyto podmínky splněny, součást do stroje vstoupí, je zpracována a dle definovaných výstupních podmínek daný stroj opustí. Na výstupní straně stroje je rovněž možné použít omezující podmínky.

Witness nabízí k dispozici několik typů strojů, které se liší zejména počty vstupujících, resp. vystupujících součástí:

- Typ SINGLE – do stroje vstupuje a ze stroje vystupuje vždy 1 součást,
- Typ BATCH – do stroje vstupuje a ze stroje vystupuje vždy n součástí,
- Typ ASSEMBLY – do stroje vstupuje n součástí a pouze 1 ze stroje vystupuje,
- Typ PRODUCTION – do stroje vstupuje 1 součást a n+1 součástí ze stroje vystupuje.

Na obrázku č. 4.2 je znázorněn detail okna pro definování vlastností stroje. Stroj může mít definovány například tyto vlastnosti:

1. Název stroje.
2. Seznam pro výběr konkrétního typu stroje.
3. Definovaný počet vstupujících součástí do stroje.
4. Definování operačního času.
5. Definovaný počet vystupujících součástí ze stroje.
6. Tlačítko pro vstup do formuláře definující vstupní pravidla.
7. Tlačítko pro vstup do formuláře pro definici pracovníka provádějícího obsluhu stroje. Přítomnost tohoto pracovníka je pak pro vykonání práce nezbytná.
8. Tlačítko pro vstup do formuláře definující výstupní pravidla.
9. Definování akcí v různých fázích činnosti stroje.



Obr. č. 4.2: Detail okna pro definování vlastností stroje

Součást (part)

Součást (part) je prvkem, který se přemísťuje mezi prvky v simulačním modelu podobně, jako se přemísťuje např. zákazník v systému hromadné obsluhy nebo vozidlo čekající ve frontě na čerpací stanici. Součást je tedy akčním prvkem. Součást může být trojího charakteru, a to aktivní (active), aktivní s profilem (active with profile),

nebo pasivní (passive). Součásti lze v průběhu průchodu modelem skladovat či záměrně sdružovat v zásobnících.

Na obrázku č. 4.3 je znázorněn detail okna pro definování vlastností součásti. Součást může mít definovány například tyto vlastnosti:

1. Název součásti.
2. Seznam, kterým je možno měnit typ součásti.
3. Tlačítka definující akce při vstupu nebo výstupu z modelu.



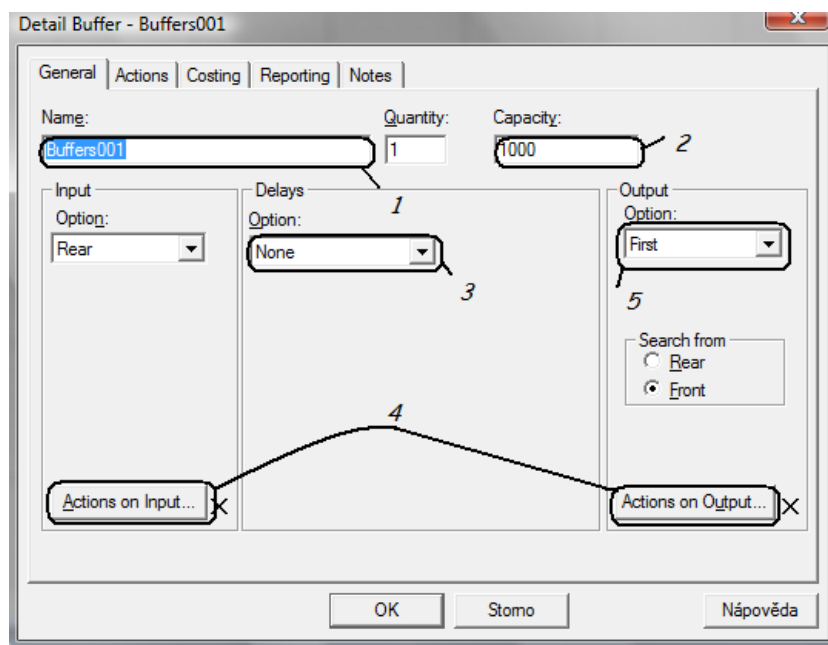
Obr. č. 4.3 Detail okna pro definování vlastností součásti

Zásobník (buffer)

Prvek zásobník (buffer) je možno z hlediska chodu modelu považovat za prvek pasivního charakteru, do něhož je možné vkládat součásti a vybírat je z něj. Součásti jsou do zásobníku vkládány podobně, jako se např. řadí zákazníci do fronty před obslužením v systému hromadné obsluhy. Výběr součástí ze zásobníku lze realizovat několika způsoby. Nejběžnější je postup v režimu řádného frontového režimu (FIFO), je ale možné použít také režim LIFO tj. poslední příchozí součást jde první do obsluhy, či výběr zcela ponechat na řídících strojích, které mohou využívat předem nadefinované podmínky pro výběr. Prvek zásobník rovněž umožňuje vykonávat řídicí akce, ale pouze při vstupu (Actions on Input) či výstupu (Actions on Output) součásti.

Na obrázku č. 4.3 je znázorněn detail okna pro definování vlastností součásti. Součást může mít definovány například tyto vlastnosti:

1. Název zásobníku.
2. Definovaná kapacita zásobníku.
3. Definování zdržení součástí v zásobníku.
4. Tlačítka definující akce při vstupu nebo výstupu součásti.
5. Volba pořadí výstupu součásti ze zásobníku.

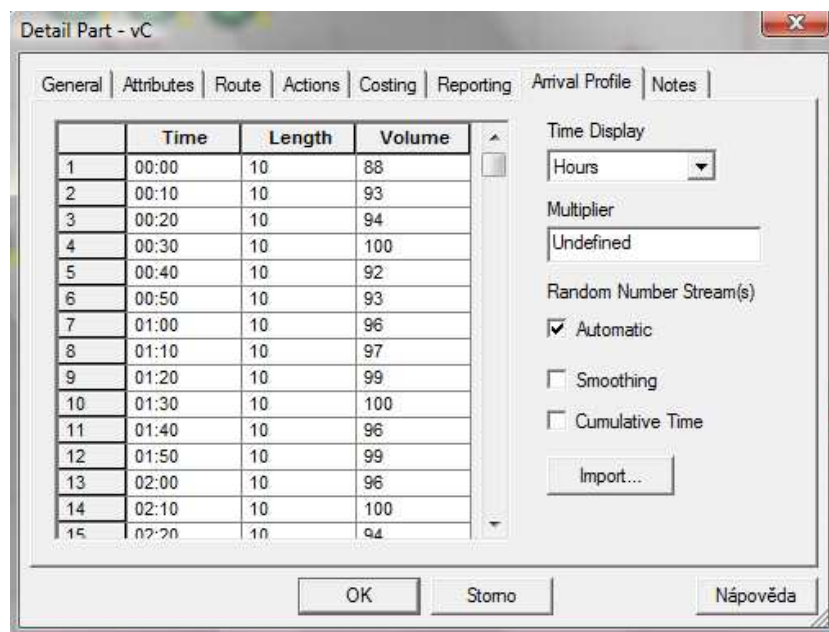


Obr. č. 4.4: Detail okna pro definování vlastností zásobníku

4.4 Model křižovatky

Nejprve bylo nutné v modelu vytvořit prvek, který by reprezentoval příjezdy vozidel ke křižovatce. Pro tento účel byly v modelu vytvořeny prvky typu součást, které jsou aktivní s profilem. Těchto prvků bylo vytvořeno 10, což odpovídá počtu řadících pruhů na řešené křižovatce.

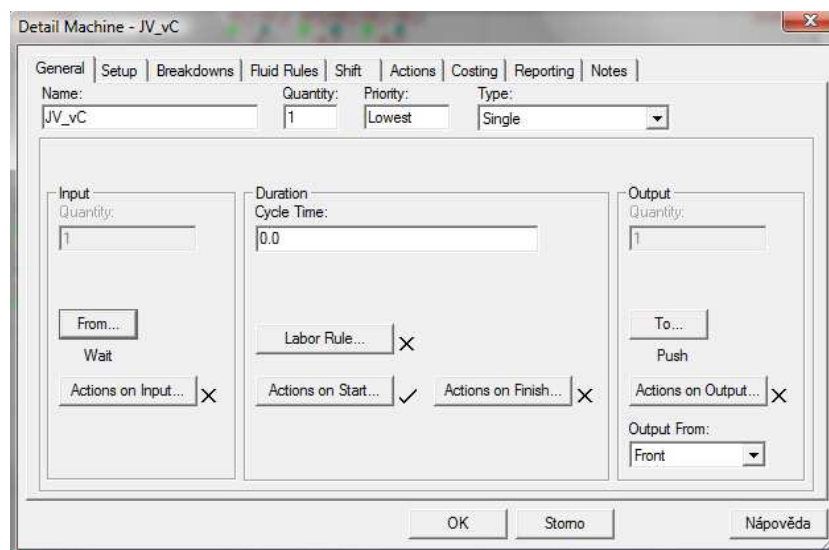
Vstupními hodnotami jsou intenzity vozidel, které přijíždí k řešené křižovatce. Jednotlivá vozidla v modelu představují součásti s pojmenováním vX, kdy hodnota X vždy symbolizuje jednotlivé dopravní proudy na křižovatce podle situačního schématu dané křižovatky (viz obr. č. 2.2). Intenzity jsou zadávány za časové období 10-ti minut (viz tab. č. 3.1). Detail definování konkrétní součásti vC je uveden na obrázku č. 4.6, kde v třetím sloupci s označením volume jsou uvedeny hodnoty průměrného počtu vozidel z tabulky č. 3.1.



Obr. č. 4.6: Detail definování součásti vC - záložka definující vstupní parametry

Pro potřeby simulace jsou příjezdějící vozidla dále rozdělena do dvou kategorií (označeny jako osobní vozidla a ostatní). Pro simulaci tohoto rozdělení byly vytvořeny dva typy prvků typu pasivní součást. První typ reprezentuje kategorii osobní vozidla. V modelu je tato součást pojmenována jako vX_o, kde X vyjadřuje označení proudů, které jsou uvedeny v signálním plánu. Druhý prvek reprezentuje kategorii pojmenovanou jako ostatní vozidla. V modelu je pojmenována jako vX_n. K rozdělení jednotlivých kategorií vozidel slouží prvek typu stroj s názvem JV_vX viz obr. č. 4.7.

Toto rozdělování je prováděno na základě provedeného doplňkového průzkumu viz tab. č. 3.2 a 3.3. Rozdělování vozidel do jednotlivých kategorií je v simulačním modelu řešeno následujícím způsobem. Nejdříve je vygenerováno pseudonáhodné číslo. Je-li hodnota tohoto čísla v intervalu odpovídající hodnotě kategorie osobní vozidla (velikost příslušného intervalu se získá na základě poměrů jednotlivých kategorií vozidel získaných z doplňkového průzkumu), je strojem JV_vX zaměněna vstupní součást Vx za součást Vx_o (kategorie osobní vozidla) a v případě, že je hodnota mimo interval odpovídající této kategorii, je zaměněna vstupní součást Vx za součást Vx_n (ostatní vozidla).



Obr. č. 4.7: Detail definování stroje JV_vC

Např. stroj JV_Vc má definovanou jednu akci na začátku v této podobě:

```
IF RANDOM () < PoNakl (3)
CHANGE vC to vC_n
ELSE
CHANGE vC to vC_o
ENDIF
```

Podmínka říká: Když je vygenerovaná hodnota pseudonáhodného čísla v intervalu od nuly do zjištěné hodnoty, která udává procento nákladních vozidel, tak je zaměněno vstupní vozidlo vC za vozidlo kategorie ostatní vC_n, jinak je zaměněno za osobní vozidlo vC_o.

Pro modelování fronty vozidel čekajících na křižovatce byly vytvořeny prvky typu zásobník. Zásobníky simulují jednotlivé řadící pruhy. V modelu byly zapracovány prvky typu zásobník pro každý řadící pruh. Označení těchto prvků v modelu je Vx_fronta , kde X vyjadřuje označení proudů, které jsou uvedeny v signálním plánu. Z důvodu rozdílné délky těchto pruhů, bylo nutné vypočítat maximální počet vozidel, která jednotlivé jízdní pruhy pojmu. Tento výpočet byl proveden podle vztahu:

$$počet\ vozidel = \frac{délka\ řadícího\ pruhu}{délka\ vozidla} \quad (4.1)$$

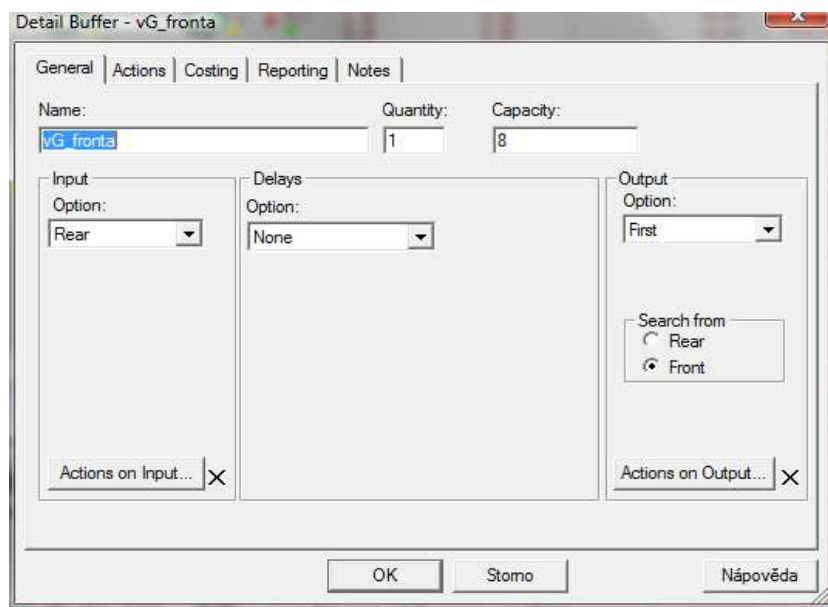
Např. pro pruh označený vG:

$$počet\ vozidel = \frac{42\ m}{5\ m},$$

$$počet\ vozidel = 8,4,$$

$$počet\ vozidel = 8\ vozidel.$$

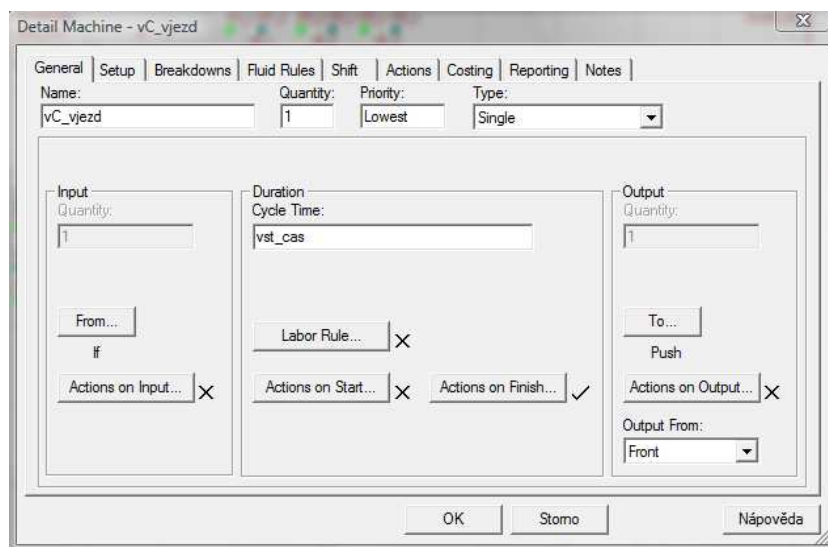
Na obrázku č. 4.8 je znázorněn detail okna pro definování vlastností fronty.



Obr. č. 4.8: Detail definování zásobníku VG_fronta

Dalším prvkem je prvek typu stroj se jménem vX_vjezd, kde X znázorňuje směry, jež jsou uvedeny v signálním plánu. Tento stroj simuluje vjezd vozidel do křižovatky pro jednotlivé proudy. Vjezd vozidel do křižovatky pro daný proud je povolen pouze při signálu dovolujícím jízdu.

Na obrázku č. 4.9 je znázorněn detail okna pro definování vlastností stroje.



Obr. č. 4.9: Detail definování stroje vC_vjezd

Např. stroj vC_vjezd má definováno vstupní pravidlo takto:

IF Zacatek_zelene (3) + Doba_zelene (3) <= Delka_cyklu

IF Aktualni_doba_cyklu >= Zacatek_zelene (3) AND Aktualni_doba_cyklu <= Zacatek_zelene (3) + Doba_zelene (3)

```

PULL from vC_fronta
ENDIF
ELSE
IF Aktualni_doba_cyklu >= 0 AND Aktualni_doba_cyklu <= Doba_zelene (3) -
(Delka_cyklu - Zacatek_zelene (3)) OR Aktualni_doba_cyklu >= Zacatek_zelene (3) AND
Aktualni_doba_cyklu <= Zacatek_zelene (3) + Doba_zelene (3)
PULL from vC_fronta
ENDIF
ENDIF

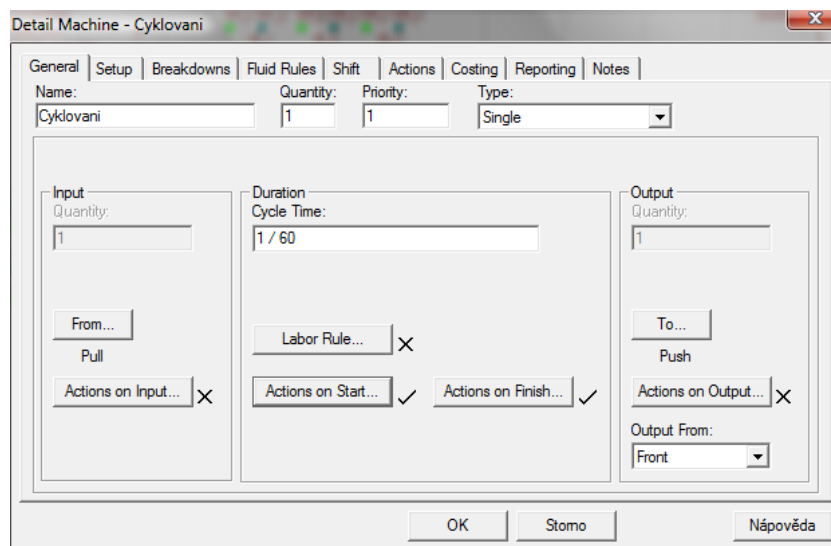
```

Podmínka říká: Když součet hodnot začátku zelené a doby zelené daného proudu je menší než délka cyklu a aktuální doba cyklu je větší nebo rovna hodnotě začátku zelené a zároveň menší nebo rovna součtu hodnot začátku zelené a doby zelené, tak stroj pracuje, čili je umožněn vstup vozidel do křižovatky.

Druhá část této podmínky říká, že když je aktuální doba cyklu větší nebo rovna nule a menší nebo rovna konci zelené v daném směru, tak stroj pracuje. Tato část podmínky je pro zelené, které na časové ose délky cyklu končí dříve, než je začátek zelené.

Pro levé odbočení z ulic Novinářská a Výstavní jsou použity v modelu dopravníky simulující frontu vozidel, čekajících na odbočení, která si najela do křižovatky. Zákon 361/2006 Sb. říká, že řidič nesmí vjet do křižovatky, nedovoluje-li mu situace pokračovat v jízdě v křižovatce a za křižovatkou, takže by byl nucen zastavit vozidlo v křižovatce. To neplatí při odbočení vlevo podle § 21 odst. [9]. Na této křižovatce odbočení vlevo probíhá na základě téhle výjimky.

Na začátku práce byl vytvořen z důvodu zjednodušení převodu z časových jednotek pomocný stroj Cyklovani, viz obr. č. 4.10, do kterého vstupuje pomocná součást s názvem Sekunda. Hodnota operačního času stroje Cyklovani je rovna 1/60 min. Tento stroj slouží k tomu, aby bylo možno sledovat, ve které sekundě cyklu se momentálně model nachází.



Obr. č. 4.10: Detail definování stroje Cyklovani

Stroj Cyklovani má nastaveno vstupní pravidlo „PULL from Sekunda out of WORLD“. Tohle pravidlo říká, že si vybírá ke zpracování prvek Sekunda.

Stroj Cyklovani má nastaveno výstupní pravidlo „PUSH to SHIP“. Tohle pravidlo říká, že po zpracování odesílá prvek Sekunda pryč z modelu.

Stroj Cyklovani má jednu akci na začátku. Je to podmínka:

IF Aktualni_doba_cyklu = Delka_cyklu

Aktualni_doba_cyklu = 0

ENDIF

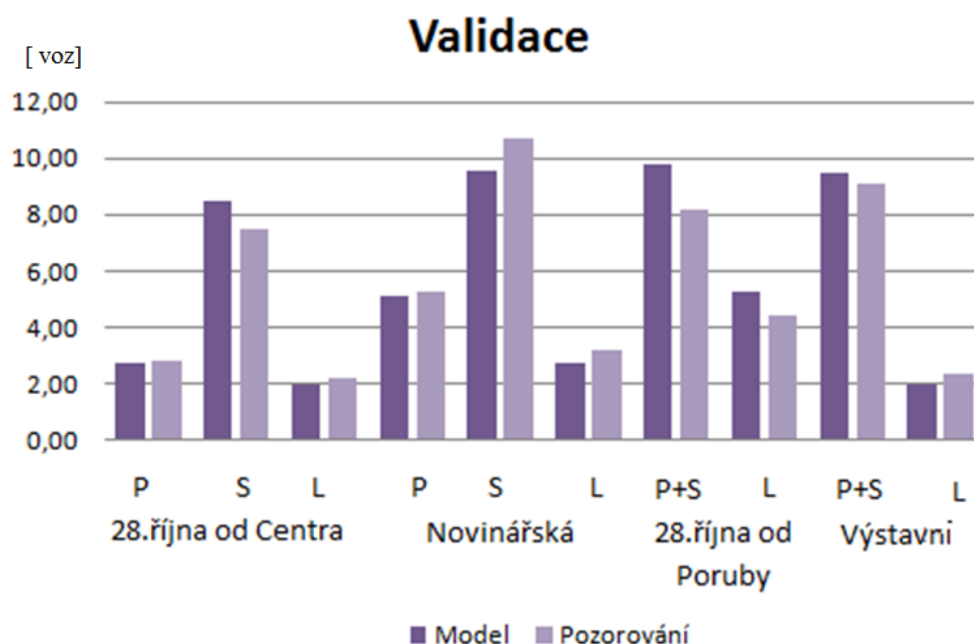
Podmínka říká: Jakmile dosáhne aktuální doba cyklu délky cyklu, dojde k nastavení aktuální doby cyklu zase na nulu.

Sestavením těchto součástí dostaneme model křižovatky. Na obrázku č. 4.11 je zobrazen snímek sestaveného modelu.

Tab. č. 4.1: Srovnání reálných dat se simulačními výsledky

	Validace									
	28.října od Centra			Novinářská			28.října od Poruby		Výstavní	
	P	S	L	P	S	L	P+S	L	P+S	L
Model [voz.]	2.74	8.45	1.96	5.14	9.55	2.74	9.77	5.26	9.47	1.97
Pozorování [voz.]	2.86	7.47	2.19	5.27	10.68	3.22	8.16	4.42	9.07	2.38
Odchylka[%]	4.2%	13.0%	10.5%	2.6%	10.5%	14.7%	19.7%	19.0%	4.5%	17.0%
Odchylka[voz.]	0.12	-0.97	0.23	0.14	1.12	0.47	-1.61	-0.84	-0.41	0.41

Z tabulky vyplývá, že nejmenší odchylka mezi daty získanými z modelu a daty zapsanými při pozorování je 2,6 % na ulici Novinářská při odbočení vpravo na ulici 28. října ve směru na Porubu. Naopak největší odchylka mezi naměřenými daty a daty získanými z modelu je na ulici 28. října ve směru od Poruby v jízdním pruhu umožňujícím jízdu rovně a zároveň sloužícímu k odbočení na ulici Novinářská, kde je tato odchylka 19,7 %. Pro vyhodnocování dané problematiky nejsou žádné doporučené postupy, ani tabulky s doporučenými hodnotami, proto byla tato hodnota považována ještě za přípustnou, **model byl validován**.



Obr. č. 4.12: Validace modelu

Na obrázku č. 4.12 je uvedeno srovnání rozdílů mezi daty získanými z modelu a daty zapsanými při pozorování.

5 PROVEDENÉ EXPERIMENTY

Cílem experimentů je pokusit se nalézt vhodnější řešení světelného řízení na křižovatce. Optimalizačními kritérii budou:

- průměrné zdržení vozidla,
- průměrná délka fronty,
- propustnost křižovatky.

Při návrhu budou uvažovány

- délka cyklu 120 sekund při stávajícím sledu fází,
- „neomezená“ délka cyklu při stávajícím sledu fází,
- délka cyklu 120 sekund při nově navrženém sledu fází.

Označení „neomezená“ vyjadřuje dobu cyklu omezenou minimální délkou zelené dle TP, zdola omezená hodnotou 30 sekund, což je minimální doba cyklu podle technických podmínek, a maximální délkou 180 sekund. Technické podmínky sice doporučují maximální délku cyklu 120 sekund, nicméně v podmínkách Ostravy se používají i větší délky cyklů, proto bylo omezení shora voleno 180 sekund.

Jednotlivými kombinacemi potom vznikne 9 variant:

- Varianta č. 1 – Minimalizace průměrného zdržení vozidla při délce cyklu 120 sekund,
- Varianta č. 2 – Minimalizace průměrného zdržení vozidla při délce cyklu „neomezená“,
- Varianta č. 3 - Minimalizace průměrného zdržení vozidla pro vlastní návrh při délce cyklu 120 sekund,
- Varianta č. 4 - Minimalizace průměrné délky fronty při délce cyklu 120 sekund,
- Varianta č. 5 - Minimalizace průměrné délky fronty při délce cyklu „neomezená“,
- Varianta č. 6 - Minimalizace průměrné délky fronty pro vlastní návrh při délce cyklu 120 sekund,
- Varianta č. 7 – Maximalizace propustnosti křižovatky při délce cyklu 120 sekund,
- Varianta č. 8 – Maximalizace propustnosti křižovatky při délce cyklu „neomezená“,
- Varianta č. 9 – Maximalizace propustnosti křižovatky pro vlastní návrh při délce cyklu 120 sekund.

Pro optimalizaci byl použit Optimizer, což je nástavba softwaru Witness. Při optimalizaci bylo provedeno pro každou testovanou konfiguraci příslušné varianty 5 experimentů, ze kterých byl vždy spočítán průměr optimalizačního kritéria.

5.1 Vlastní návrh

Pro vlastní návrh je nutné si nejprve sestavit vlastní fázové schéma. Bylo navrženo fázové schéma, které je uvedeno na obr. č. 5.1, protože při použití tohoto fázového schématu dojde k odstranění podmíněně kolizních směrů při odbočení vlevo.



Obr. č. 5.1: Vlastní fázové schéma

Pro názornější představu byly jednotlivé skupiny přehledně uvedeny do následující tabulky č. 5.1.

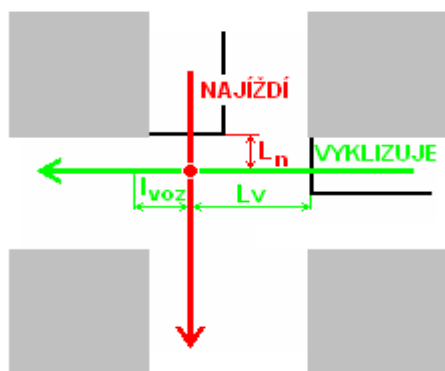
Tab. č. 5.1 : Zařazení jednotlivých skupin

1. fáze	2. fáze	3. fáze	4. fáze
vC	vG	vB_2	vB_1
vA_1	vF	vD_1	vD_3
vA_2		vD_2	

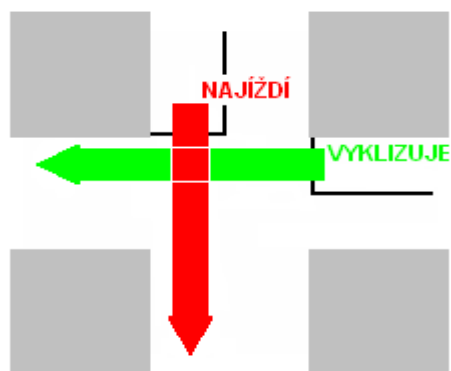
Po návrhu vlastního fázového schématu je dále potřeba vypočítat tabulku mezičasů.

Mezičas je časový interval od konce doby zelené na návěstidle pro jeden směr po začátek doby zelené na návěstidle pro kolizní směr. V tomto časovém intervalu musí poslední (vyklizující) vozidlo, které vjelo v končící době zelené do křižovatky, bezpečně vyklidit kolizní plochu dříve, než první vozidlo z kolizního směru, které vjede na začátku své zelené, této kolizní plochy dosáhne.

Kolizní plocha je ta část plochy komunikace, kde se dráha vyklizujícího vozidla nebo chodce střetává s dráhou najíždějícího vozidla nebo chodce. Kolizní plocha je různá pro každou dvojici kolizních dopravních proudů. Na obrázku č. 5.2 jsou znázorněny kolizní body pro dva dopravní proudy. Na obrázku č. 5.3 je znázorněna kolizní plocha.



Obr. č. 5.2: Znázornění kolizního bodu[3]



Obr. č. 5.3: Znázornění kolizní plochy[3]

Pro výpočet mezičasu t_m platí vztah (5.1) [3]:

$$t_m = t_v - t_n + t_b \quad (5.1)$$

t_v – vyklizovací doba je doba potřebná k projetí vyklizujícího vozidla od tzv. stop čáry (příčné čáry souvislé) ke koliznímu bodu, resp. doba potřebná k chůzi vyklizujícího chodce od vstupu do vozovky ke koliznímu bodu [s],

t_n – najížděcí doba je doba potřebná k projetí najížděcího vozidla od stopčáry ke koliznímu bodu, resp. doba potřebná k chůzi vstupujícího chodce od vstupu do vozovky ke koliznímu bodu [s],

t_b – bezpečnostní doba je doba zohledňující vliv pojíždění signálu „Pozor“ v souladu s pravidly silničního provozu po skončení signálu volno [s].

Pro výpočet vyklizovací doby t_v platí vztah (5.2) [3]:

$$t_v = \frac{L_v + l_{voz}}{v_v} \quad (5.2)$$

L_v – vyklizovací dráha, tj. dráha vyklizujícího vozidla od stopčáry ke koliznímu bodu, resp. dráha vyklizujícího chodce od vstupu do vozovky ke koliznímu bodu [m],

l_{voz} – délka vyklizujícího vozidla [m],

v_v – vyklizující rychlost, tj. rychlost vyklizujícího vozidla nebo chodce [m/s].

Pro výpočet najížděcí doby t_n platí vztah (5.3) [3]:

$$t_n = \frac{L_n}{v_n} \quad (5.3)$$

v_n – najížděcí rychlost, tj. rychlost najížděcího vozidla nebo chodce [m/s],

L_n – najížděcí dráha, tj. dráha najížděcího vozidla od stopčáry ke koliznímu bodu, resp. dráha vstupujícího chodce od vstupu do vozovky ke koliznímu bodu [m].

Při výpočtu mezičasů bude proud Ta a Tc počítaný společně s proudy Va a Vc. Doba zelené pro tramvaj bude zkrácena o čas t_v , určený jako:

$$t_v = \frac{L_v + l_{voz}}{v_v}$$

$$t_v = \frac{46,1 + 30,3}{7}$$

$$t_v = 10,9 \Rightarrow 11 \text{ s}$$

(*Po konzultaci bylo doporučeno použít hodnotu 7 m.s^{-1} i v případě, když jedou tramvaje v přímém směru)

Z výpočtu vyplývá, že délka fáze obsahující proudy vA a vC musí být delší než 11 sekund.

Pro výpočet mezičasů je nutné znát standardní hodnoty pro výpočet mezičasů. Tyto hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce č. 5.2.

Tab. č. 5.2: Standardní hodnoty pro výpočet mezičasů [7]

Ukazatel			Hodnota	Jednotka
Vyklizovací a najížděcí rychlost	Motorová vozidla	V přímém směru	9,7	m/s
		V oblouku	7,0	m/s
	Cyklisté		4,2	m/s
	Chodci		1,4	m/s
Bezpečnostní doba	Motorová vozidla		2,0	s
	Cyklisté		1	s
	Chodci		0	s
Délka vyklizujícího vozidla	Motorová vozidla		5,0	m
	Cyklisté		0	m
	Chodci		0	m

Příklad výpočtu mezičasů pro skupiny VA_1 – VB_1:

$$t_v = \frac{L_v + L_{voz}}{v_v} = \frac{36,78 + 5}{7} = \underline{\underline{5,97 \text{ s}}}$$

$$t_n = \frac{L_n}{v_n} = \frac{38,28}{9,7} = \underline{\underline{3,95 \text{ s}}}$$

$$t_m = t_v - t_n + t_b = 5,97 - 3,95 + 2 = \underline{\underline{4,02 \text{ s}}}$$

$$t_{mskut} \cong t_m \cong \underline{\underline{5\text{ s}}}$$

Výpočet ostatních mezičasů je uveden v příloze č. 2.

Vypočtené mezičasy t_m byly sestaveny do tabulky mezičasů. Tabulka je symetrická podle úhlopříčky, což umožňuje kontrolu, zda nebylo při výpočtu nezapomenuto na některý křižovatkový pohyb. Hodnoty mezičasů jsou uvedeny v následující tabulce mezičasů tab. č. 5.3:

Tab. č. 5.3 : Výsledná tabulka mezičasů

[s]	Tabulka mezičasů									
	vA_1	vA_2	vB_1	vB_2	vC	vD_1	vD_2	vD_3	vF	vG
vA_1			5	4		4	2	4		4
vA_2				4						6
vB_1	2				3	3	5	2	6	2
vB_2	2	2			4			5	4	5
vC			4	2			4	5	4	
vD_1	3		5							
vD_2	4		3		2				5	3
vD_3	2			2	2				3	5
vF			1	2	2		0	4		
vG	2	1	5	2			3	2		

Pro stanovení pořadí fází je rozhodující minimální součet maximálních mezičasů mezi jednotlivými fázemi. V tabulce č. 5.4 jsou uvedeny možné kombinace pořadí jednotlivých fází.

Tab. č. 5.4: Kombinace pořadí fází

Kombinace	Pořadí			
1	1	2	3	4
2	1	3	4	2
3	1	4	2	3
4	1	4	3	2
5	1	2	4	3
6	1	3	2	4

Pro výpočet rozhodujícího minimálního mezičasu mezi fázemi bylo nutné spočítat mezičasy mezi jednotlivými fázemi. Tabulka vypočítaných mezičasů mezi jednotlivými fázemi je uvedena v příloze č. 3. Z těchto hodnot byly vybrány jednotlivé maximální mezičasy mezi jednotlivými fázemi:

$$\begin{array}{llll}
 t_{m12} = 6 \text{ s} & t_{m21} = 2 \text{ s} & t_{m31} = 4 \text{ s} & t_{m41} = 3 \text{ s} \\
 t_{m13} = 4 \text{ s} & t_{m23} = 3 \text{ s} & t_{m32} = 5 \text{ s} & t_{m42} = 6 \text{ s} \\
 t_{m14} = 5 \text{ s} & t_{m24} = 2 \text{ s} & t_{m34} = 5 \text{ s} & t_{m43} = 5 \text{ s}
 \end{array}$$

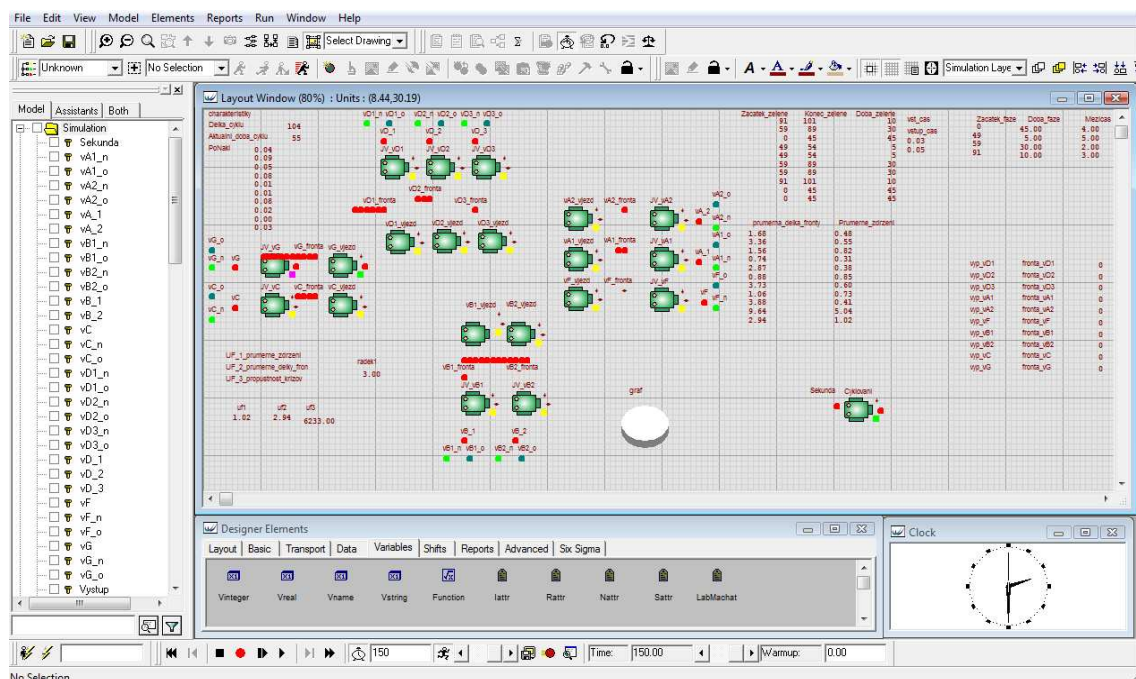
Pro stanovení rozhodujícího mezičasu byl v následující tabulce č. 5.5 proveden výpočet rozhodujících mezičasů pro jednotlivé kombinace fází.

Tab. č. 5.5: Rozhodující čas

Pořadí fází				Čas	
1	2	3	4	=	17 s
1	3	4	2	=	17 s
1	4	2	3	=	18 s
1	4	3	2	=	17 s
1	2	4	3	=	17 s
1	3	2	4	=	14 s

Pro vlastní návrh byl sled fází v pořadí první fáze, po ní bude následovat třetí fáze, následuje fáze druhá a poslední je čtvrtá fáze. Součet mezičasů pak bude minimální, tedy 14 sekund.

Pro vlastní návrh bylo nutno upravit simulační model. V modelu bylo nutné upravit pořadí fází. Dále bylo možno odstranit dopravníky modelující levé odbočení z ulic Novinářská a Výstavní, které byly použity v modelu pro simulaci fronty vozidel čekajících na odbočení. Rovněž bylo nezbytné upravit hodnoty mezičasů. Na následujícím obrázku č. 5.4 je zobrazen model po provedení úprav.



Obr. č. 5.4: Náhled upraveného simulačního modelu

5.2 Výsledky experimentů

V této části budou představeny dosažené výsledky pro jednotlivé uvažované varianty. Varianty byly představeny v úvodu kapitoly 5.

5.2.1 Varianta č. 1 – Minimalizace průměrného zdržení vozidla pro délku cyklu 120 sekund

Optimalizační kritérium je v tomto případě průměrná doba zdržení vozidel. Software Witness má v sobě integrovanou funkci „ATIME“. Tato funkce slouží k zjištění průměrné doby pobytu součásti v zásobníku.

Zápis účelové funkce v modelu:

```
RETURN (ATIME (vA1_fronta) + ATIME (vA2_fronta) + ATIME (vF_fronta) + ATIME (vB1_fronta) + ATIME (vB2_fronta) + ATIME (vC_fronta) + ATIME (vG_fronta) + ATIME (vD1_fronta) + ATIME (vD2_fronta) + ATIME (vD3_fronta)) / 10
```

Význam: Jedná se o součet průměrných dob čekání, které dělíme počtem proudů.

Při optimalizaci v nástavbě Optimizer byly měněny jednotlivé doby fází. Pro optimalizační kritérium průměrná doba zdržení vozidel byly hledány takové konfigurace modelu, při kterých byly dosaženy minimální hodnoty zdržení. V následující tabulce je zobrazen výběr dvaceti výsledků pro délku cyklu 120 sekund, které simulační software vyhodnotil jako nejlepší.

Tab. č. 5.6: Tabulka 20 nejlepších výsledků pro variantu 1

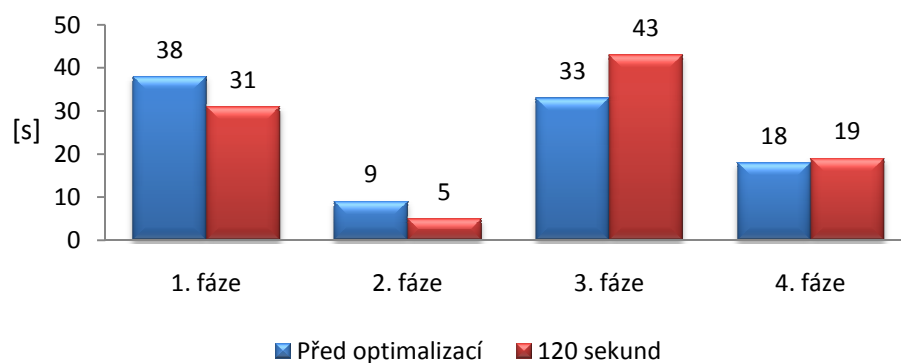
Pořadí	UF_1 průměrné_zdržení	Doba fáze 1	Doba fáze 2	Doba fáze 3	Doba fáze 4	Délka cyklu
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
1	33.36	31	5	43	19	120
2	33.36	31	6	42	19	120
3	33.42	32	5	43	18	120
4	33.48	30	6	42	20	120
5	33.48	32	5	42	19	120
6	33.48	31	8	40	19	120
7	33.54	31	7	41	19	120
8	33.60	31	9	39	19	120
9	33.66	30	5	43	20	120
10	33.66	31	5	42	20	120
11	33.72	31	10	39	18	120
12	33.72	35	5	40	18	120
13	33.72	34	5	40	19	120
14	33.84	31	11	39	17	120
15	33.84	36	5	40	17	120
16	33.84	32	5	41	20	120
17	33.84	31	10	38	19	120
18	33.90	29	6	42	21	120
19	34.02	36	5	39	18	120
20	34.02	31	11	38	18	120

V následující tabulce č. 5.7 je provedeno srovnání výsledků průměrného zdržení vozidel před optimalizací s výsledky optimalizovanými pomocí simulačního softwaru. Dvě varianty mají stejnou hodnotu účelové funkce, pro další srovnání si vybereme první z těchto variant.

Tab. č. 5.7: Srovnání výsledků pro variantu 1

UF1-120s	Jednotka	Před optimalizací	120 sekund
Hodnota účelové funkce	[s]	35.40	33.36
Délka trvání 1. fáze	[s]	38	31
Délka trvání 2. fáze	[s]	9	5
Délka trvání 3. fáze	[s]	33	43
Délka trvání 4. fáze	[s]	18	19
Celkový mezičas	[s]	22	22
Délka cyklu	[s]	120	120

Dále následuje obrázek srovnání jednotlivých dob fází před optimalizací s dobami fází pro navrženou variantu 1.



Obr. č. 5.5: Doby fází pro variantu 1

Hodnota účelové funkce klesla z původní hodnoty 35,40 s na hodnotu 33,36 s tj. o 5,8%. Doba první fáze byla zkrácena z 38 sekund na 31 sekund. Doba druhé fáze byla zkrácena z původně 9 sekund o 4 sekundy na 5 sekund. Třetí fáze byla prodloužena z původních 33 sekund na 43 sekund. Poslední fáze byla prodloužena o jednu sekundu na 19 sekund.

5.2.2 Varianta č. 2 – Minimalizace průměrného zdržení vozidla při „neomezené“ délce cyklu

Při optimalizaci pomocí Optimizeru byly měněny jednotlivé doby fází. Pro optimalizační kritérium průměrná doba zdržení vozidel byly hledány minimální hodnoty zdržení. V tabulce č. 5.8 je zobrazen výběr dvaceti výsledků pro délku cyklu „neomezená, které simulační software vyhodnotil jako nejlepší.

Tab. č. 5.8: Tabulka 20 nejlepších výsledků pro variantu 2

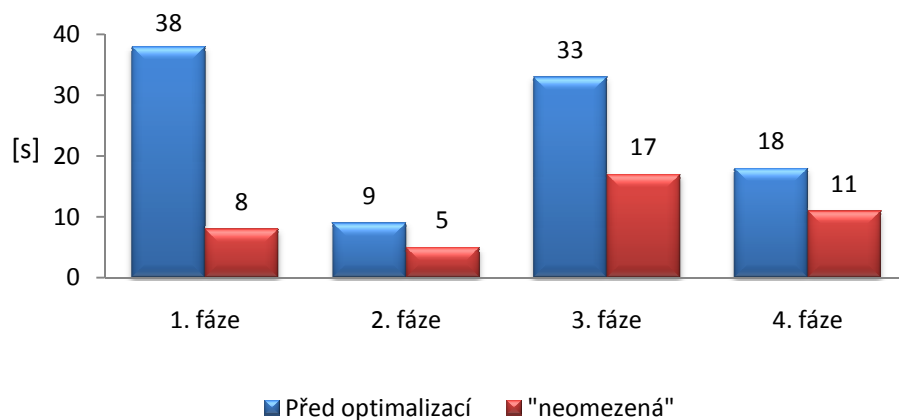
Pořadí	UF_1 průměrné_zdržení	Doba fáze 1	Doba fáze 2	Doba fáze 3	Doba fáze 4	Délka cyklu
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
1	22.20	8	5	17	11	63
2	22.26	7	5	16	11	61
3	22.26	9	5	18	11	65
4	22.26	8	5	18	11	64
5	22.32	10	5	19	11	67
6	22.32	6	5	16	11	60
7	22.38	10	5	20	11	68
8	22.44	9	5	17	11	64
9	22.44	8	5	16	11	62
10	22.44	10	5	18	11	66
11	22.50	9	5	16	11	63
12	22.50	7	5	18	11	63
13	22.50	7	5	17	11	62
14	22.68	9	6	19	11	67
15	22.74	6	5	15	11	59
16	22.74	10	6	19	11	68
17	22.74	9	6	18	11	66
18	22.80	7	5	19	11	64
19	22.80	10	6	18	11	67
20	22.80	7	6	17	11	63

V tabulce č. 5.9 je provedeno srovnání výsledků průměrného zdržení vozidla před optimalizací s výsledky optimalizovanými pomocí simulačního softwaru.

Tab. č. 5.9: Srovnání výsledků pro variantu 2

UF1-"neomezená"	Jednotka	Před optimalizací	"neomezená"
Hodnota účelové funkce	[s]	35,40	22,20
Délka trvání 1. fáze	[s]	38	8
Délka trvání 2. fáze	[s]	9	5
Délka trvání 3. fáze	[s]	33	17
Délka trvání 4. fáze	[s]	18	11
Celkový mezičas	[s]	22	22
Délka cyklu	[s]	120	63

Na obrázku č. 5.6 je srovnání jednotlivých dob fází před optimalizací s dobami fází pro druhou variantu.



Obr. č. 5.6: Doby fází pro variantu 2

Hodnota účelové funkce klesla z původní hodnoty 35,40 s na hodnotu 22,20 s, tj. o 37,3 %. Doba první fáze byla zkrácena z 38 sekund na 8 sekund. Doba druhé fáze byla zkrácena z původně 9 sekund o 4 sekundy na 5 sekund. Třetí fáze byla zkrácena z původních 33 sekund na 17 sekund. Poslední fáze byla zkrácena z 18 sekund na 11 sekund. Celková doba cyklu byla zkrácena z původních 120 sekund na 63 sekund, tj. o 47,5 %.

5.2.3 Varianta č. 3 - Minimalizace průměrného zdržení vozidla pro vlastní návrh a délku cyklu 120 sekund

Při optimalizaci v nástavbě Optimizer byly měněny jednotlivé doby fází pro vlastní návrh. Pro optimalizační kritérium průměrná doba zdržení vozidel byly hledány minimální hodnoty zdržení. V následující tabulce je zobrazen výběr dvaceti výsledků pro délku cyklu 120 sekund, které simulační software vyhodnotil jako nejlepší.

Tab. č. 5.10: Tabulka 20 nejlepších výsledků pro variantu 3

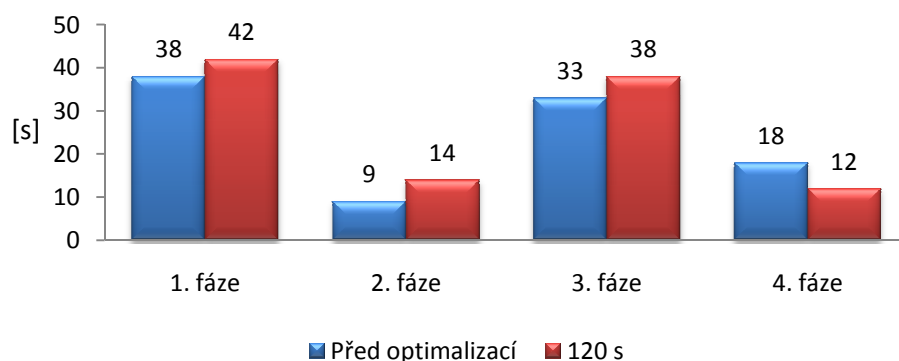
Pořadí	UF_1 průměrné_zdržení	Doba fáze 1	Doba fáze 2	Doba fáze 3	Doba fáze 4	Délka cyklu
	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
1	40.98	42	14	38	12	120
2	40.98	42	16	36	12	120
3	41.04	42	14	37	13	120
4	41.1	41	16	37	12	120
5	41.1	45	14	35	12	120
6	41.1	41	16	36	13	120
7	41.1	43	14	37	12	120
8	41.16	42	15	37	12	120
9	41.22	45	14	34	13	120
10	41.22	45	15	34	12	120
11	41.28	46	14	34	12	120
12	41.28	45	15	33	13	120
13	41.34	47	14	33	12	120
14	41.4	40	14	40	12	120
15	41.4	43	16	36	11	120
16	41.46	47	15	32	12	120
17	41.46	43	16	37	10	120
18	41.52	48	14	32	12	120
19	41.7	42	14	40	10	120
20	41.7	42	14	39	11	120

V následující tabulce č. 5.11 je provedeno srovnání výsledků průměrného zdržení vozidel před optimalizací s výsledky optimalizovanými pomocí simulačního softwaru. Dvě varianty mají stejnou hodnotu účelové funkce, pro další srovnání si vybereme například první variantu.

Tab. č. 5.11: Srovnání výsledků pro variantu 3

UF1-vlastní návrh	Jednotka	Před optimalizací	120 sekund
Hodnota účelové funkce	[s]	35,40	40,98
Délka trvání 1. fáze	[s]	38	42
Délka trvání 2. fáze	[s]	9	14
Délka trvání 3. fáze	[s]	33	38
Délka trvání 4. fáze	[s]	18	12
Celkový mezičas	[s]	22	14
Délka cyklu	[s]	120	120

Na obrázku č. 5.7 je znázorněno srovnání jednotlivých dob fází před optimalizací s dobami fází pro třetí variantu.



Obr. č. 5.7: Doby fází pro variantu 3

Hodnota účelové funkce vzrostla z původní hodnoty 35,40 s na současných 40,98 s, tj. nárůst o 15,8%. Hodnota účelové funkce sice stoupla, ale došlo k odstranění problematického odbočování vlevo a tím by mohlo dojít i k poklesu možných konfliktních situací. Doba první fáze byla prodloužena z 38 sekund o čtyři sekundy na 42 sekund. Doba druhé fáze byla prodloužena z původních 9 sekund o 5 sekund na 14 sekund. Třetí fáze byla prodloužena z původních 33 sekund o 5 sekund na 38 sekund. Poslední fáze byla zkrácena z 18 sekund na 12 sekund. Celková doba cyklu byla zachována, ale díky nižší hodnotě mezičasů, je součet dob zelených prodloužen o 8 sekund.

5.2.4 Varianta č. 4 – Minimalizace průměrné délky fronty pro délku cyklu 120 sekund

V následujícím případě je optimalizačním kritériem průměrná délka vozidel čekajících ve frontách před křižovatkou. K zjištění průměrného počtu čekajících vozidel použijeme funkci „APARTS“. Tato funkce slouží k zjištění průměrného počtu součástí, které se nacházejí v námi zvoleném elementu.

Zápis účelové funkce v modelu:

```
RETURN (APARTS (vA1_fronta) + APARTS (vA2_fronta) + APARTS (vF_fronta)
+ APARTS (vB1_fronta) + APARTS (vB2_fronta) + APARTS (vC_fronta) + APARTS
(vG_fronta) + APARTS (vD1_fronta) + APARTS (vD2_fronta) + APARTS
(vD3_fronta)) / 10
```

Význam: Jedná se o průměrný počet součástí v daném zásobníku (jízdním pruhu), které dělíme počtem pruhů.

Při optimalizaci byly měněny jednotlivé doby fází. Pro optimalizační kritérium průměrná délka fronty byly hledány minimální hodnoty průměrných délek. V následující tabulce je zobrazen výběr dvaceti výsledků pro délku cyklu 120 sekund, které simulační software vyhodnotil jako nejlepší.

Tab. č. 5.12: Tabulka 20 nejlepších výsledků pro variantu 4

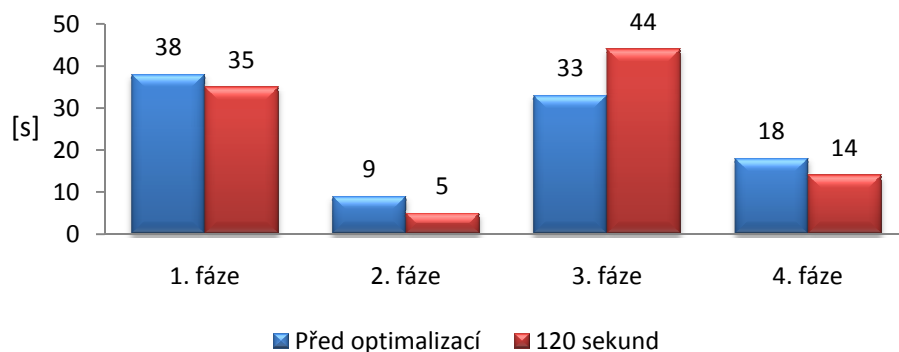
Pořadí	UF_2 Průměrná délka fronty	Doba fáze 1	Doba fáze 2	Doba fáze 3	Doba fáze 4	Délka cyklu
	[voz.]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
1	2.266	35	5	44	14	120
2	2.27	35	5	46	12	120
3	2.27	35	5	42	16	120
4	2.271	35	5	45	13	120
5	2.271	35	5	43	15	120
6	2.272	34	5	42	17	120
7	2.273	35	5	41	17	120
8	2.274	34	5	47	12	120
9	2.274	34	5	46	13	120
10	2.276	37	5	39	17	120
11	2.276	35	5	40	18	120
12	2.278	36	5	39	18	120
13	2.278	34	5	40	19	120
14	2.281	37	5	38	18	120
15	2.282	35	5	39	19	120
16	2.284	34	6	42	16	120
17	2.285	34	6	43	15	120
18	2.286	34	6	46	12	120
19	2.286	34	6	41	17	120
20	2.29	34	5	39	20	120

V tabulce č. 5.13 je provedeno srovnání výsledků průměrné délky fronty vozidel před optimalizací s výsledky optimalizovanými pomocí simulačního softwaru.

Tab. č. 5.13: Srovnání výsledků pro variantu 4

UF2-120s	Jednotka	Před optimalizací	120 sekund
Hodnota účelové funkce	[voz]	2.390	2.266
Délka trvání 1. fáze	[s]	38	35
Délka trvání 2. fáze	[s]	9	5
Délka trvání 3. fáze	[s]	33	44
Délka trvání 4. fáze	[s]	18	14
Celkový mezičas	[s]	22	22
Délka cyklu	[s]	120	120

Na obrázku č. 5.8 je zobrazeno srovnání jednotlivých dob fází před optimalizací s dobami fází pro čtvrtou variantu.



Obr. č. 5.8: Doby fází pro variantu 4

Hodnota účelové funkce klesla z původní hodnoty 2,390 vozidel na hodnotu 2,266 vozidel, tj. o 5,2%. Doba první fáze byla zkrácena z původních 38 sekund na 35 sekund. Doba druhé fáze byla zkrácena z původně 9 sekund o 4 sekundy na 5 sekund. Třetí fáze byla prodloužena z původních 33 sekund na 44 sekund. Poslední fáze byla zkrácena z původní hodnoty 18 sekund na nyníjších 14 sekund.

5.2.5 Varianta č. 5 - Minimalizace průměrné délky fronty při „neomezené“ délce cyklu

Při optimalizaci v nástavbě Optimizer byly měněny doby fází. Pro optimalizační kritérium průměrná délka fronty byly hledány minimální hodnoty průměrných délek fronty. V následující tabulce je zobrazen výběr dvaceti výsledků pro „neomezenou“ délku cyklu, které simulační software vyhodnotil jako nejlepší.

Tab. č. 5.14: Tabulka 20 nejlepších výsledků pro variantu 5

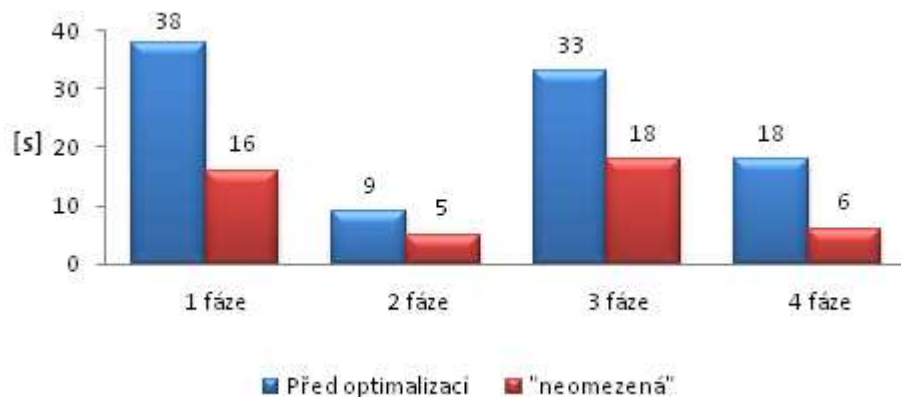
Pořadí	UF_2 Průměrná délka fronty	Doba fáze 1	Doba fáze 2	Doba fáze 3	Doba fáze 4	Délka cyklu
	[voz.]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
1	1.641	16	5	18	6	67
2	1.641	15	5	18	7	67
3	1.644	13	5	18	8	66
4	1.644	14	5	18	8	67
5	1.646	15	5	18	6	66
6	1.646	14	5	18	7	66
7	1.647	13	5	18	9	67
8	1.650	13	5	19	8	67
9	1.653	14	5	19	7	67
10	1.654	14	5	19	8	68
11	1.655	14	5	19	9	69
12	1.656	16	5	18	7	68
13	1.656	12	5	18	9	66
14	1.657	17	5	18	6	68
15	1.658	12	5	19	9	67
16	1.661	12	5	18	10	67
17	1.661	13	5	19	9	68
18	1.663	13	5	19	10	69
19	1.664	12	5	19	10	68
20	1.665	15	5	18	8	68

V tabulce č. 5.15 je provedeno srovnání výsledků průměrné délky fronty vozidel před optimalizací s výsledky optimalizovanými pomocí simulačního softwaru.

Tab. č. 5.15: Srovnání výsledků pro variantu 5

UF2-"neomezená"	Jednotka	Před optimalizací	"neomezená"
Hodnota účelové funkce	[voz.]	2.390	1.641
Délka trvání 1. fáze	[s]	38	16
Délka trvání 2. fáze	[s]	9	5
Délka trvání 3. fáze	[s]	33	18
Délka trvání 4. fáze	[s]	18	6
Celkový mezičas	[s]	22	22
Délka cyklu	[s]	120	67

Následuje obrázek srovnání jednotlivých dob fází. Na obrázku č. 5.9 jsou vidět rozdíly mezi původními dobami fází a navrženými dobami fází.



Obr. č. 5.9: Doby fází pro variantu 5

Hodnota účelové funkce klesla z původní hodnoty 2,390 vozidel na hodnotu 1,641 vozidel, tj. o 31,3 %. Doba první fáze byla zkrácena z 38 sekund na 16 sekund. Doba druhé fáze byla zkrácena z původních 9 sekund o 4 sekundy na 5 sekund. Třetí fáze byla zkrácena z původních 33 sekund na 18 sekund. Poslední fáze byla zkrácena z 18 sekund na 6 sekund. Celková délka cyklu byla zkrácena z původních 120 sekund na 67 sekund, tj. o 44,1 %.

5.2.6 Varianta č. 6 - Minimalizace průměrné délky fronty vozidla pro vlastní návrh a délku cyklu 120 sekund

Při optimalizaci byly měněny doby fází. Pro optimalizační kritérium průměrná délka fronty byly hledány minimální hodnoty průměrných délek fronty. V následující tabulce č. 5.15 je zobrazen výběr dvaceti výsledků pro délku cyklu 120 sekund, které simulační software vyhodnotil jako nejlepší.

Tab. č. 5.16: Tabulka 20 nejlepších výsledků pro variantu 6

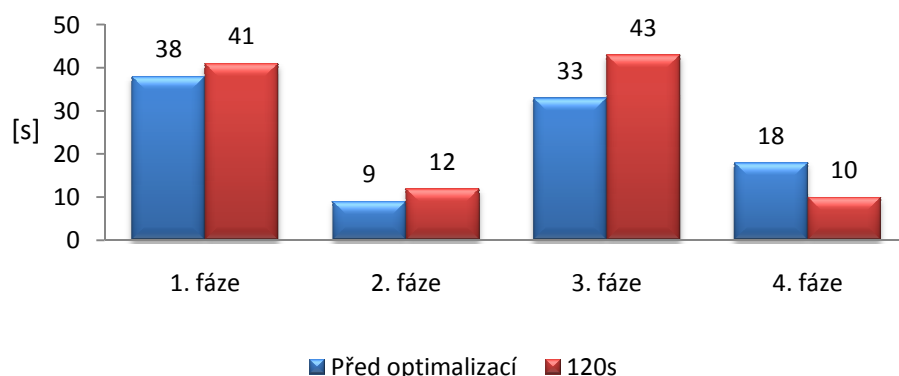
Pořadí	UF_2 Průměrná délka fronty	Doba fáze 1	Doba fáze 2	Doba fáze 3	Doba fáze 4	Délka cyklu
	[voz.]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
1	2.860	41	12	43	10	120
2	2.916	40	12	44	10	120
3	2.928	40	12	43	11	120
4	2.970	40	12	45	9	120
5	2.972	40	13	45	8	120
6	2.975	40	12	46	8	120
7	3.161	41	13	45	7	120
8	3.164	41	12	46	7	120
9	3.186	55	5	36	10	120
10	3.188	56	5	35	10	120
11	3.203	55	5	35	11	120
12	3.210	56	5	34	11	120
13	3.218	40	13	46	7	120
14	3.218	56	5	33	12	120
15	3.219	59	5	32	10	120
16	3.221	57	5	33	11	120
17	3.226	51	5	41	9	120
18	3.226	52	8	38	8	120
19	3.229	51	5	42	8	120
20	3.229	57	5	32	12	120

V tabulce č. 5.17 je provedeno srovnání výsledků průměrné délky fronty vozidel před optimalizací s výsledky optimalizovanými pomocí simulačního softwaru.

Tab. č. 5.17: Srovnání výsledků pro variantu 6

UF2-vlastní návrh	Jednotka	Před optimalizací	120 sekund
Hodnota účelové funkce	[voz.]	2.390	2.860
Délka trvání 1. fáze	[s]	38	41
Délka trvání 2. fáze	[s]	9	12
Délka trvání 3. fáze	[s]	33	43
Délka trvání 4. fáze	[s]	18	10
Celkový mezičas	[s]	22	14
Délka cyklu	[s]	120	120

Na obrázku č. 5.10 je srovnání jednotlivých dob fází před optimalizací s dobami fází pro šestou variantu.



Obr. č. 5.10: Doby fází pro variantu 6

Hodnota účelové funkce vzrostla z původní hodnoty 2,390 vozidel na 2,860 vozidel, tj. nárůst o 19,7%. Hodnota účelové funkce bohužel stoupla, došlo však k odstranění problematického odbočování vlevo. Doba první fáze byla prodloužena z 38 sekund o tři sekundy na hodnotu 41 sekund. Doba druhé fáze byla prodloužena z původních 9 sekund o 3 sekundy na 12 sekund. Třetí fáze byla prodloužena z původních 33 sekund o 10 sekund na 43 sekund. Poslední fáze byla zkrácena z 18 sekund na 10 sekund, tj. o 8 sekund. Celková doba cyklu zůstala zachována.

5.2.7 Varianta č. 7 – Maximalizace propustnosti křižovatky při délce cyklu 120 sekund

Třetím optimalizačním kritériem je propustnost celé křižovatky. K zjištění propustnosti křižovatky použijeme funkci „NSHIP“. Tato funkce slouží k zjištění celkového počtu součástí, které byly odeslány z modelu (tedy počet vozidel, které projely křižovatkou).

Zápis účelové funkce v modelu:

```
RETURN NSHIP (vA1_o)+ NSHIP (vA1_n)+ NSHIP (vA2_o)+ NSHIP (vA2_n)+ NSHIP (vF_o)+ NSHIP (vF_n)+ (vB1_o)+ NSHIP (vB1_n)+ NSHIP (vB2_o)+ NSHIP (vB2_n)+ (vC_o)+ NSHIP (vC_n)+ NSHIP (vG_o)+ NSHIP (vG_n)+ (vD1_o)+ NSHIP (vD1_n)+ NSHIP (vD2_o)+ NSHIP (vD2_n)+ (vD3_o)+ NSHIP (vD3_n)
```

Význam: Jedná se o počet součástí (vozidel), které jsou z modelu odeslány.

Při optimalizaci pomocí simulačního softwaru byly měněny jednotlivé doby fází. Pro optimalizační kritérium propustnost křižovatky byly hledány maximální hodnoty propustnosti. V následující tabulce je zobrazen výběr 21 výsledků pro délku cyklu 120 sekund, které simulační software vyhodnotil jako nejlepší.

Tab. č. 5.18: Tabulka 21 nejlepších výsledků pro variantu 7

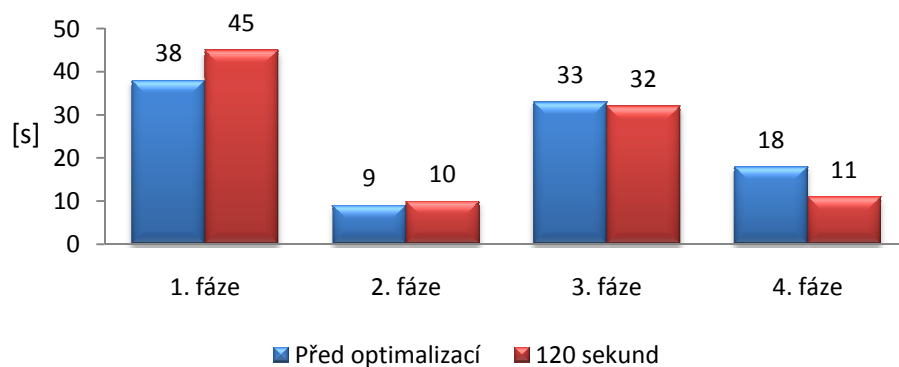
Pořadí	UF_3 Propustnost křižovatky	Doba fáze 1	Doba fáze 2	Doba fáze 3	Doba fáze 4	Délka cyklu
	[voz./150min]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
1	6426	45	10	32	11	120
2	6426	44	11	32	11	120
3	6426	47	8	32	11	120
4	6426	48	7	32	11	120
5	6426	49	6	32	11	120
6	6426	50	5	30	13	120
7	6426	47	9	31	11	120
8	6426	49	7	31	11	120
9	6426	51	5	31	11	120
10	6426	47	10	30	11	120
11	6426	51	6	30	11	120
12	6426	52	5	30	11	120
13	6426	52	6	30	10	120
14	6426	51	7	30	10	120
15	6426	53	5	30	10	120
16	6426	47	11	29	11	120
17	6426	50	8	29	11	120
18	6426	51	7	29	11	120
19	6426	52	6	29	11	120
20	6426	53	5	29	11	120
21	6425	43	10	34	11	120

V tomto případě našel simulační software dvacet variant se stejnou hodnotou účelové funkce, pro další srovnání vybereme první z těchto variant. V následující tabulce č. 5.19 je provedeno srovnání výsledků propustnosti křižovatky před optimalizací s výsledky optimalizovanými pomocí simulačního softwaru.

Tab. č. 5.19: Srovnání výsledků pro variantu 7

UF3-120s	Jednotka	Před optimalizací	120 sekund
Hodnota účelové funkce	[voz./150min]	6424	6426
Délka trvání 1. fáze	[s]	38	45
Délka trvání 2. fáze	[s]	9	10
Délka trvání 3. fáze	[s]	33	32
Délka trvání 4. fáze	[s]	18	11
Celkový mezičas	[s]	22	22
Délka cyklu	[s]	120	120

Na obrázku č. 5.11 je srovnání jednotlivých dob fází před optimalizací s dobami fází pro sedmou variantu.



Obr. č. 5.11: Doby fází pro variantu 7

Hodnota účelové funkce stoupla z 6424 vozidel na hodnotu 6426 vozidel. Doba první fáze byla prodloužena z 38 sekund na hodnotu 45 sekund. Doba druhé fáze byla prodloužena z původních 9 sekund o 1 sekundu na 10 sekund. Třetí fáze byla zkrácena z původních 33 sekund o jednu sekundu na 32 sekund. Poslední fáze byla zkrácena z 18 sekund na 11 sekund.

5.2.8 Varianta č. 8 – Maximalizace propustnosti křižovatky při „neomezené“ délce cyklu

Při optimalizaci pomocí simulačního softwaru byly měněny jednotlivé doby fází. Pro optimalizační kritérium propustnost křižovatky byly hledány maximální hodnoty propustnosti. V následující tabulce je zobrazen výběr 20 výsledků pro „neomezenou délku cyklu, které simulační software vyhodnotil jako nejlepší.

Tab. č. 5.20: Tabulka 20 nejlepších výsledků pro variantu 8

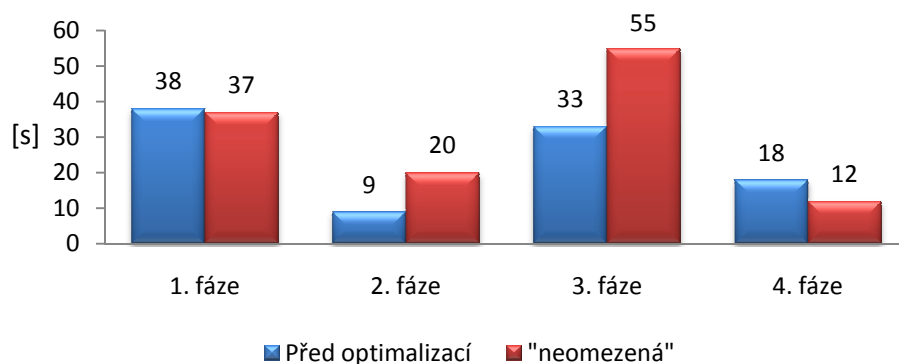
Pořadí	UF_3 Propustnost křižovatky	Doba fáze 1	Doba fáze 2	Doba fáze 3	Doba fáze 4	Délka cyklu
	[voz./150min]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
1	6426	37	20	55	12	146
2	6426	37	17	66	26	168
3	6424	36	7	56	25	146
4	6424	36	7	48	24	137
5	6424	36	7	57	24	146
6	6424	37	30	45	22	156
7	6423	37	27	66	26	178
8	6423	36	26	55	26	165
9	6423	39	30	47	21	159
10	6423	27	30	46	21	146
11	6422	46	30	57	19	174
12	6422	42	16	45	37	162
13	6422	36	18	57	23	156
14	6422	37	8	38	24	129
15	6422	45	35	45	27	174
16	6421	37	36	46	15	156
17	6421	36	36	46	16	156
18	6421	36	7	57	14	136
19	6421	53	7	47	36	165
20	6421	31	16	35	37	141

Dvě varianty mají stejnou hodnotu účelové funkce. Pro další srovnání bude vybrána hodnota s kratší délkou cyklu, protože se více blíží hodnotě uvedené jako maximum podle technických podmínek. V tabulce č. 5.21 je provedeno srovnání výsledků propustnosti křižovatky před optimalizací s výsledky optimalizovanými pomocí simulačního softwaru.

Tab. č. 5.21: Srovnání výsledků pro variantu 8

UF3-"neomezená"	Jednotka	Před optimalizací	"neomezená"
Hodnota účelové funkce	[voz./150min]	6424	6426
Délka trvání 1 fáze	[s]	38	37
Délka trvání 2 fáze	[s]	9	20
Délka trvání 3 fáze	[s]	33	55
Délka trvání 4 fáze	[s]	18	12
Celkový mezičas	[s]	22	22
Délka cyklu	[s]	120	146

Na následujícím obrázku je srovnání jednotlivých dob fází před optimalizací s dobami fází pro osmou variantu.



Obr. č. 5.12: Doby fází pro variantu 8

Hodnota účelové funkce stoupla z 6424 na hodnotu 6426 vozidel. Doba první fáze byla zkrácena z 38 sekund o jednu sekundu na hodnotu 37 sekund. Doba druhé fáze byla prodloužena z původních 9 sekund o 11 sekund na 20 sekund. Třetí fáze byla prodloužena z původních 33 sekund o 22 sekund na 55 sekund. Poslední fáze byla zkrácena z 18 sekund na 12 sekund. Celková doba cyklu byla prodloužena z původních 120 sekund na 146 sekund, tj. prodloužení o 21,67%.

5.2.9 Varianta č. 9 – Maximalizace propustnosti křižovatky pro vlastní návrh a délku cyklu 120 sekund

Při optimalizaci v nástavbě Optimizer byly měněny jednotlivé doby fází. Pro optimalizační kritérium propustnost křižovatky byly hledány maximální hodnoty propustnosti. V následující tabulce č. 5.22 je zobrazen výběr dvaceti výsledků pro délku cyklu 120 sekund, které simulační software vyhodnotil jako nejlepší.

Tab. č. 5.22: Tabulka 20 nejlepších výsledků pro variantu 9

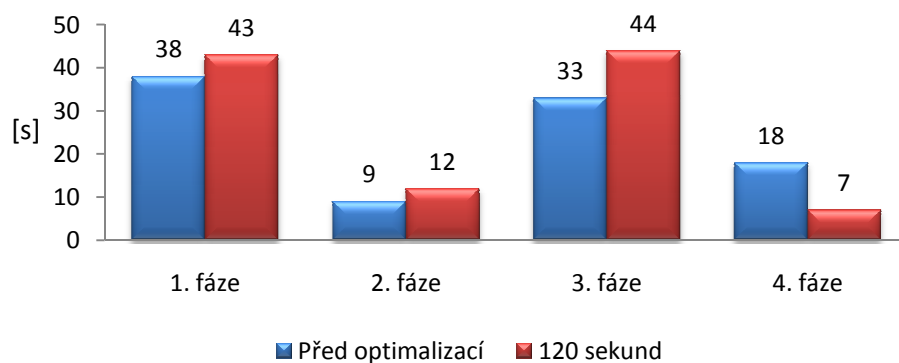
Pořadí	UF_3 Propustnost křižovatky	Doba fáze 1	Doba fáze 2	Doba fáze 3	Doba fáze 4	Délka cyklu
	[voz./150min]	[s]	[s]	[s]	[s]	[s]
1	6416	43	12	44	7	120
2	6415	41	14	43	8	120
3	6415	42	12	44	8	120
4	6415	41	12	45	8	120
5	6415	41	14	44	7	120
6	6415	41	15	43	7	120
7	6415	42	13	44	7	120
8	6415	41	13	45	7	120
9	6415	42	12	45	7	120
10	6415	41	12	46	7	120
11	6413	40	16	42	8	120
12	6413	40	15	43	8	120
13	6413	40	14	44	8	120
14	6413	40	12	45	9	120
15	6413	40	12	46	8	120
16	6413	40	16	43	7	120
17	6413	40	15	44	7	120
18	6413	40	14	45	7	120
19	6413	40	13	46	7	120
20	6413	40	12	47	7	120

V tabulce č. 5.23 je provedeno srovnání výsledků propustnosti křižovatky před optimalizací s výsledky optimalizovanými pomocí simulačního softwaru.

Tab. č. 5.23: Srovnání výsledků pro variantu 9

UF3-vlastní návrh	Jednotka	Před optimalizací	120 sekund
Hodnota účelové funkce	[voz./150min]	6424	6416
Délka trvání 1. fáze	[s]	38	43
Délka trvání 2. fáze	[s]	9	12
Délka trvání 3. fáze	[s]	33	44
Délka trvání 4. fáze	[s]	18	7
Celkový mezičas	[s]	22	14
Délka cyklu	[s]	120	120

Na obrázku č. 5.13 je srovnání jednotlivých dob fází před optimalizací s dobami fází pro poslední variantu.



Obr. č. 5.13: Doby fází pro variantu 9

Hodnota účelové funkce klesla o 0,12% z původní hodnoty 6424 vozidel na současných 6416 vozidel. Hodnota účelové funkce sice klesla, ale díky jinému fázovému schématu došlo odstranění problematického odbočování vlevo. Doba první fáze byla prodloužena z 38 sekund o pět sekund na 43 sekund. Doba druhé fáze byla prodloužena z původních 9 sekund o tři sekundy na 12 sekund. Třetí fáze byla prodloužena z původních 33 sekund o 11 sekund na hodnotu 44 sekund. Poslední fáze byla zkrácena z 18 sekund na 7 sekund. Zkrácení poslední fáze bylo taktéž o 11 sekund. Celková doba cyklu je 120 sekund.

6 SESTAVENÍ SIGNÁLNÍHO PLÁNU

Řídící zařízení pro příslušnou křižovatku se nazývá řadič. Bývá umístěn ve skříňce stojící v blízkosti křižovatky. Obvykle je k němu připojen i sloupek s ovladačem, z něž může signalizaci manuálně ovládat policista. Ve větších městech bývají modernější světelná signalizační zařízení napojena dálkově i na centrální dispečink, z něhož může dopravu řídit příslušný pracovník na dálku – zpětnou vazbu mu poskytuje kamerový systém.

Plán střídání signálních fází se sestavuje v souladu s technickými předpisy. Přitom je nutno počítat s možnou rychlostí reakce řidičů na změnu signálu a s tzv. vyklizovacím časem rezervovaným pro opuštění křižovatky vozidly a chodci, kteří se do ní dostali v předchozí fázi. Nedostatečně dlouhé vyklizovací časy bývají často zdrojem problémů.

U starších světelných signalizačních zařízení se používají pevné cykly, jejichž uspořádání se mění podle předem daného plánu maximálně několikrát za den. I tato technologie však umožňuje vytváření tzv. zelené vlny, tj. návaznosti cyklů na sousedících křižovatkách.

U novějších světelných signalizačních zařízení se používá dynamické řízení, které délku nebo zařazení jednotlivých fází přizpůsobuje aktuálnímu stavu provozu na základě pasivní i aktivní detekce účastníků a hustoty provozu.

Jedním z cílů této práce bylo vytvořit signální plány navrhovaných variant. Jelikož nebylo při simulačních experimentech s chodci uvažováno, nejsou proto chodecké proudy zobrazeny v signálních plánech. V případě, že by byly tyto signální plány realizovány, bude nutno dopočítat mezičasy pro přechody pro chodce a přiřadit odpovídajícím fázím jednotlivé délky zelených pro chodce.

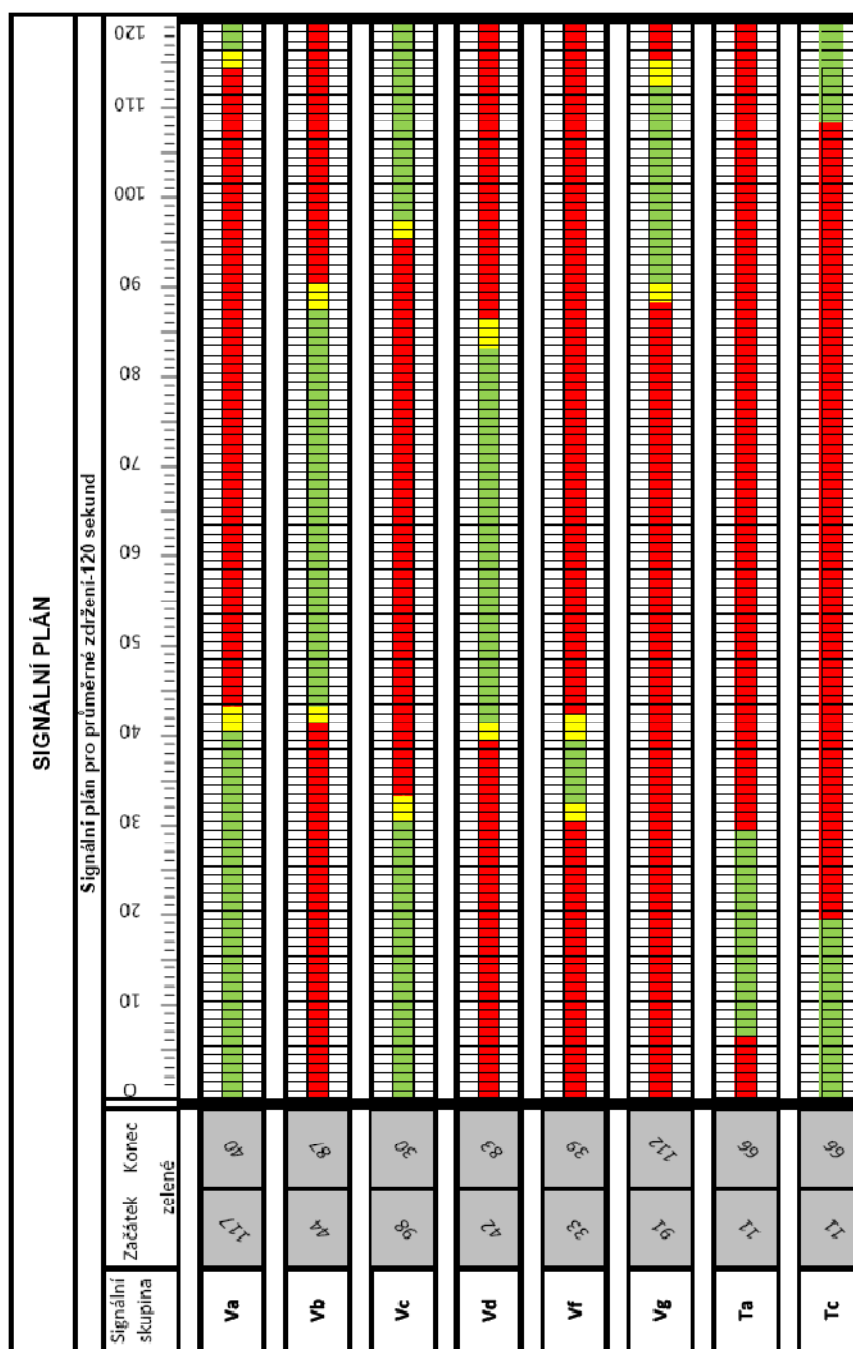
Budou sestaveny tři signální plány a to pro první tři varianty. Tyto tři varianty byly vybrány, protože mají na řidiče asi nejlepší psychologický efekt, jelikož většina řidičů chce na křižovatce strávit čekáním co nejkratší dobu.

6.1 Signální plány

Signální plán pro Variantu 1

Na obr. č. 6.1 je zobrazen plán střídání signálních fází pro první variantu. V prvním sloupci je uveden název každé signální skupiny. V dalším sloupci jsou uvedeny začátky zelených. V třetím sloupci jsou časy konců jednotlivých zelených.

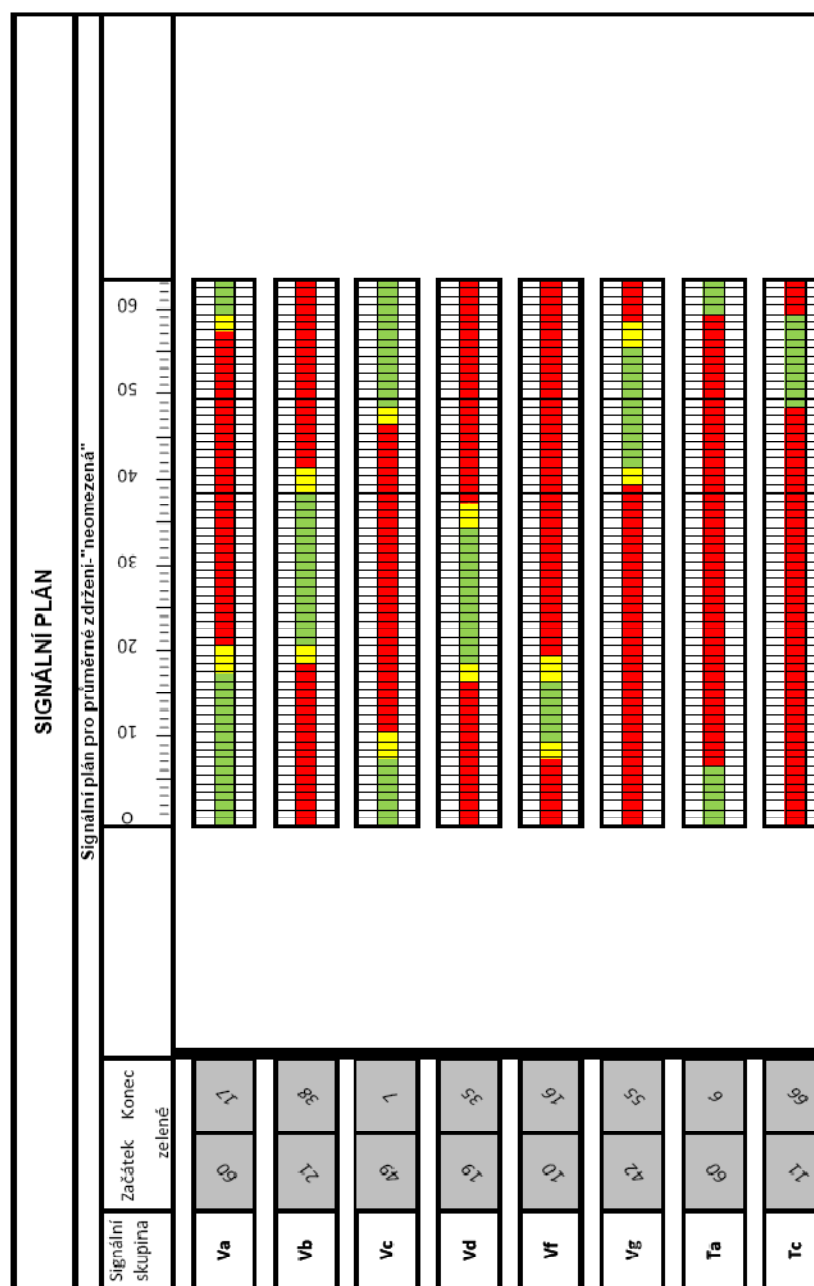
Následuje kompletní návrh světelného řízení, který je proveden graficky sestavením signálního plánu. V signálním plánu jsou graficky znázorněny signální obrazy jednotlivých signálních skupin pro všechny uvažované účastníky provozu. Při konstrukci se nejprve vynese délka cyklu a pak se vynesou délky jednotlivých fází. Do takto připraveného podkladu se zakreslují začátky a konce signálních dob, poté se zařadí na dobu 2 s signální obraz červenožluté, za konec zelené se zařadí na dobu 3 s signální obraz žluté a zbylé době se přiřadí červená.



Obr. č. 6.1: Signální plán pro variantu 1

Signální plán pro Variantu 2

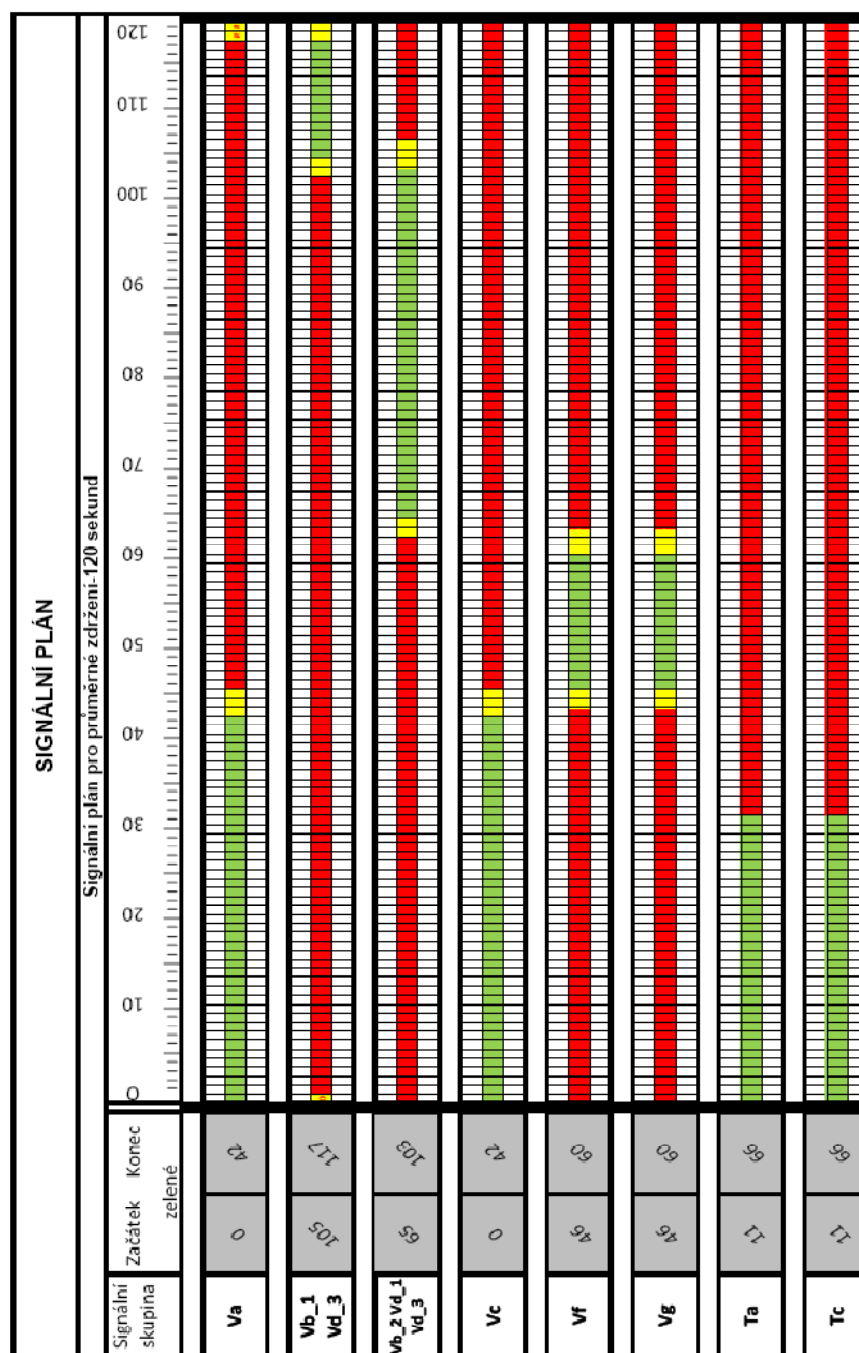
Na obr. č. 6.2 je zobrazen plán střídání signálních fází pro druhou variantu. Celková délka cyklu je v tomto případě 63 sekund



Obr. č. 6.2: Signální plán pro variantu 2

Signální plán pro Variantu 3

Na obr. č. 6.3 vidíme plán střídání signálních fází pro třetí variantu. Celková délka cyklu činí v tomto případě 120 sekund.



Obr. č. 6.3: Signální plán pro variantu 3

Tyto signální plány mohou také sloužit jako výchozí podklad pro dynamické řízení. Dynamické řízení je takové řízení světelnou signalizací, které podle dopravních nároků v reálném čase zjišťovaných dopravními detektory bezprostředně reaguje na průběh dopravy a podle okamžité poptávky mění délky zelených signálů a střídá fáze řízení. Tím může snížit zdržení a zastavování vozidel před světelným signalizačním zařízením a celkově zvýšit plynulost provozu ve srovnání s klasickým řízením pevnými signálními programy.

7 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

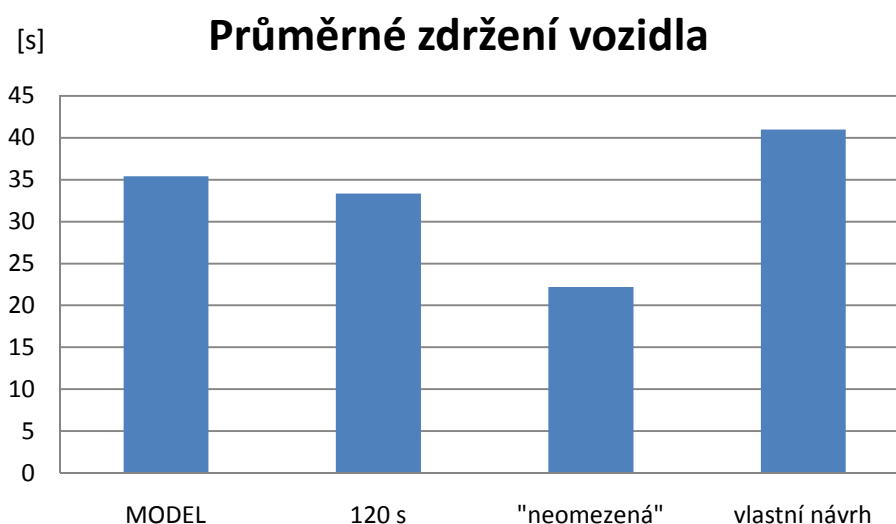
Diplomová práce se zabývá sestavením simulačního modelu křižovatky a provedením experimentů s účelem pokusit se nalézt vhodnější řešení.

V následující tabulce č. 7.1 je uvedeno srovnání výsledků hodnot před simulací s výsledky po provedení jednotlivých experimentů.

Tab. č. 7.1 Srovnání výsledků

	Hodnoty účelových funkcí před provedením experimentů	Výsledky provedených experimentů pro délku cyklu 120 s	Výsledky provedených experimentů pro "neomezenou" délku cyklu	Výsledky provedených experimentů pro vlastní návrh
Průměrné zdržení vozidla [s]	35,40	33,36	22,20	40,98
Průměrná délka fronty [voz.]	2,390	2,266	1,641	2,860
Celková propustnost křižovatky [voz/150min]	6424	6426	6426	6416

Pro lepší srovnání první účelové funkce stávajícího řešení s navrženými řešeními (varianty 1 - 3) byl vytvořen následující obrázek č. 7.1.



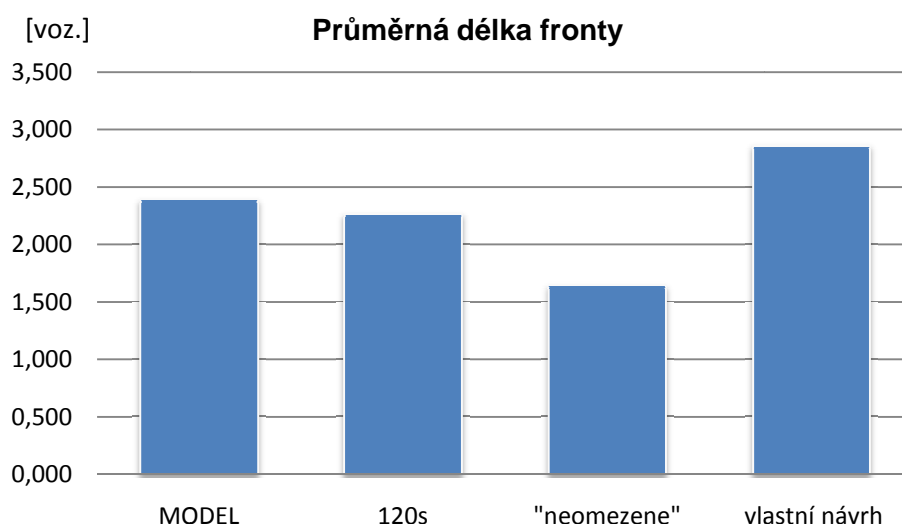
Obr. č. 7.1: Srovnání průměrného zdržení vozidla

První účelovou funkcí je průměrné zdržení vozidla při čekání na křižovatce. První návrh je ponechání stávající doby cyklu. V tomto případě poklesla hodnota účelové z 35,40 s na hodnotu 33,36 s. Průměrná doba čekání se tak zkrátila o více než 2 sekundy, v procentuálním vyjádření je to pokles o 5,8 procenta.

Druhým návrhem je omezení doby cyklu shora na hodnotu 180 sekund, zdola na hodnotu 30 sekund, což je minimální doba cyklu podle technických podmínek. Pokles hodnoty účelové funkce je z hodnoty 35,40 s na hodnotu 22,20 s. Průměrná doba čekání se zkrátila o více než 13 sekund, což je pokles o 37,2 procent. Doba cyklu se však zkrátila na 62 sekund, což může být v odpolední špičce nedostatečná délka.

Třetím řešením je vlastní návrh. Tento návrh upravuje fázové schéma a odstraňuje levé odbočení ovlivněné protisměrem. Doba cyklu pro tento návrh zůstala na hodnotě 120 sekund. Hodnota účelové funkce v tomto případě vzrostla z původních 35,40 sekund na hodnotu 40,98 s. Nárůst hodnoty účelové funkce je tedy více než 5 sekund, což je nárůst o 15,7 procenta. Hodnota účelové funkce bohužel v tomto případě vzrostla, ale odstraněním času, při kterém mají signál „Volno“ vozidla odbočující vlevo současně s vozidly v protisměru, se dá předpokládat, že dojde k snížení počtů konfliktních situací.

Pro lepší srovnání druhé účelové funkce stávajícího řešení s navrhovanými řešeními (varianty 4 – 6) byl vytvořen následující obrázek č. 7.2.



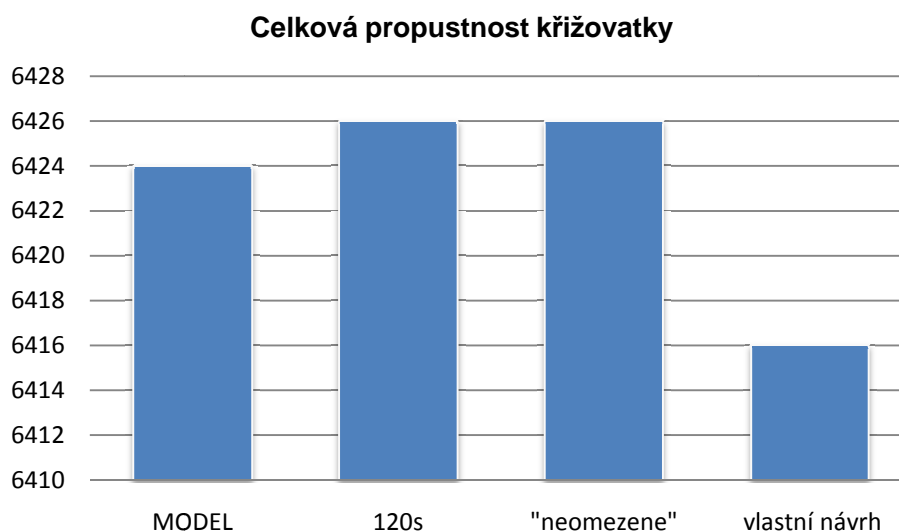
Obr. č. 7.2: Srovnání průměrných délek fronty

Druhou účelovou funkcí je průměrná délka fronty vozidel při čekání na křižovatce. První návrh je ponechání stávající délky cyklu. V tomto případě došlo k poklesu hodnoty účelové funkce z 2,390 vozidel na hodnotu 2,266 vozidel. Došlo tak ke zkrácení průměrné délky fronty o 0,124 vozidla, v procentuálním vyjádření je to pokles o 5,188 procent.

Druhým návrhem je omezení doby cyklu shora na hodnotu 180 sekund, zdola na hodnotu 30 sekund, což je minimální doba cyklu podle technických podmínek. Pokles hodnoty účelové funkce je z hodnoty 2,390 vozidel na hodnotu 1,641 vozidel. Průměrná

délka fronty se zkrátila o 0,749 vozidel, což je pokles o 31,34 procent. Délka cyklu se však zkrátila na 67 sekund, což může být v odpolední špičce nedostatečná délka.

Třetím řešením je vlastní návrh. Tento návrh upravuje fázové schéma a odstraňuje levé odbočení ovlivněné protisměrem. Délka cyklu pro tento návrh zůstala na hodnotě 120 sekund. Hodnota účelové funkce v tomto případě vzrostla z původních 2,390 vozidel na hodnotu 2,860 vozidel. Nárůst hodnoty účelové funkce je tedy více než 0,47 vozidel, což je nárůst o 19,67 procent. Hodnota účelové funkce bohužel v tomto případě vzrostla, ale opět se dá předpokládat, že díky navrženým úpravám dojde ke snížení počtů konfliktů.



Obr. č. 7.3: Srovnání celkové propustnosti křižovatky

Třetí účelovou funkcí je celková propustnost křižovatky. První návrh je ponechání stávající délky cyklu. V tomto případě hodnota účelové funkce stoupla z 6424 na hodnotu 6426 vozidel za 150 minut.

Druhým návrhem je omezení doby cyklu shora na hodnotu 180 sekund, zdola na hodnotu 30 sekund, což je minimální doba cyklu podle technických podmínek. V tomto případě hodnota účelové funkce se opět zvýšila na hodnotu 6426 vozidel za 150 min. Délka cyklu se prodloužila na 146 sekund. Protože nedošlo, v porovnání s prvním návrhem, ke zvýšení hodnoty účelové funkce, je prodlužování délky cyklu v tomto případě zbytečné.

Třetím řešením je vlastní návrh. Tento návrh upravuje fázové schéma a odstraňuje levé odbočení ovlivněné protisměrem. Délka cyklu pro tento návrh zůstala na hodnotě 120 sekund. Hodnota účelové funkce v tomto případě poklesla z původních 6424 vozidel na hodnotu 6416. Pokles hodnoty účelové funkce je tedy 10 vozidel, což je pokles

o 0,125 procent. Hodnota účelové funkce v tomto případě sice poklesla, ale dá se předpokládat, že dojde k snížení počtu konfliktů na řešené křižovatce.

7.1 Úvaha o ekonomické výhodnosti - Varianta 1

Pro zjištění ekonomické výhodnosti by bylo nutné znát přesný typ vozidel a jejich aktuální spotřebu při volnoběžných otáčkách. Tohle bohužel není reálné zjistit, proto bude vytvořen předpoklad, že všechny vozidla budou jednoho typu. V České republice je nejrozšířenějším typem vozidel ŠKODA Felicia [9] s motorem o objemu 1289 cm³.

Volnoběžná spotřeba vozidla ŠKODA Felicia je 1 litr paliva/h [10] za předpokladu, že budou splněny následující podmínky:

- motor zahřátý na provozní teplotu,
- okolní teplota 18 °C,
- vypnuté topení,
- vypnutá klimatizace,
- a mnoho dalších faktorů ovlivňující spotřebu.

Úspora paliva pro jedno vozidlo jedoucí křižovatkou jednou denně:

$$Uspořené\ palivo = časová\ úspora \cdot spotřeba,$$

$$Uspořené\ palivo = \frac{2,04 \cdot 1}{3600} = 0,000567l.$$

Průměrná cena pohonných hmot dne 1. 5. 2010 je 30,51 Kč [11].

Finanční úspora pro jedno vozidlo:

$$Finanční\ úspora = 31,51 \cdot 0,0057,$$

$$Finanční\ úspora = 0,017856Kč.$$

Finanční úspora pro jedno vozidlo za 365 dnů:

$$Finanční\ úspora\ za\ 365\ dnů = 0,017856 \cdot 365,$$

$$Finanční\ úspora\ za\ 365\ dnů = 6,517318Kč.$$

Finanční úspora pro všechny vozidla za 365 dnů:

$$Celková\ finanční\ úspora\ za\ 365\ dnů =$$

$$= Finanční\ úspora\ za\ 365\ dnů \cdot propustnost\ křižovatky ,$$

$$Celková\ finanční\ úspora\ za\ 365\ dnů = 6,517318 \cdot 6411,$$

$$Celková\ finanční\ úspora\ za\ 365\ dnů = 41\,783,53\ Kč.$$

Celková úspora všech vozidel v případě, že by na dané křižovatce byl tento signální plán provozován každý den 150 minut v čase od 13.30 do 16:00 a nedošlo by k podstatným změnám v intenzitách dopravy (nedošlo by ke změně počtu vozidel, které projedou křižovatkou v uvažovaném čase) a čekala by zde jen vozidla ŠKODA Felicia, by byla téměř 42 tisíc korun českých.

8 ZÁVĚR

Cílem předložené diplomové práce bylo vytvoření modelu světelně řízené křižovatky v simulačním softwaru Witness. Dalším cílem bylo provedení experimentů a vyhodnocení výsledků provedených experimentů.

První kapitola se věnuje charakteristice vybrané křižovatky z hlediska polohy a uspořádání řešené křižovatky.

Dalším krokem byla analýza dat, která budou potřebná k sestavě simulačního modelu a poté k následné validaci a samotnému modelování. Vstupními daty jsou průměrné intenzity vozidel. Dalšími vstupními hodnotami jsou hodnoty začátků a konců dob zelených dle stávajícího signálního plánu.

V další kapitole je proveden popis základních prvků, ze kterých se skládá model, a popis sestavení modelu. Poté následovala validace modelu. Ta spočívá v porovnání průměrných délek fronty, které byly získány pomocí simulace, s průměrnými délkami front vozidel čekajících na řešené křižovatce. Model byl validován.

Následující kapitola se věnuje provedeným experimentům. Pro provedení experimentů bylo nutné sestavit účelové funkce. První účelovou funkcí je průměrné zdržení vozidel, druhá je průměrná délka fronty a poslední celková propustnost křižovatky. Celkem bylo provedeno 9 návrhů, které jsou v práci blíže popsány.

V další kapitole byly sestaveny tři vzorové signální plány pro řešení minimalizující průměrnou dobu zdržení.

Poslední kapitola byla věnována srovnání jednotlivých výsledků a úvaze o úspoře při realizaci jednoho z navržených řešení.

Z předložených návrhů bych pro řízení křižovatky vybral návrh, kde bylo hledáno lepší řešení pro průměrné zdržení vozidla a celkovou dobou cyklu 120 sekund. Nedošlo zde k velké časové úspoře, ale ve srovnání s ostatními řešeními je toto řešení z mého pohledu nejlepší, protože se obávám, že krátká doba cyklu, která je v dalším řešení, je nedostatečná. Kdyby bylo úkolem zvýšit bezpečnost i za cenu zhoršení stávajícího stavu, doporučil bych použít hodnoty průměrného zdržení pro vlastní návrh. Očekávám, že toto řešení by mohlo mít za následek snížení počtu konfliktů na křižovatce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Informace o statistických ukazatelích

URL:< <http://www.ibesip.cz/.../Informace+o+statistických+ukazatelích.pdf>>

[citováno 3. listopadu 2009]

- [2] Křivda, V. *Základy organizace a řízení silniční dopravy*, 1. vyd., Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2006, ISBN 80-248-1253-3

- [3] Folprecht, J., Křivda, V. *Organizace a řízení dopravy I*, 1. vyd., Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-1030-1

- [4] Mapa Ostravy

URL:< <http://www.mapy.cz/#mm=ZP@x=141912832@y=135187584@z=14>>

[citováno 3. listopadu 2009]

- [5] *Informace o ostravských křižovatkách*, Ostravské komunikace, a.s., Ing. Miroslav Laštůvka, Oddělení dopravního inženýrství

- [6] *Informace o intenzitách na ostravských křižovatkách*, Ostravské komunikace, a.s., Ing. Margita Navrátilová, Oddělení dopravního inženýrství

- [7] Popis programovacího prostředí WITTNES

URL:<<http://www.humusoft.cz/.../index.php?lang=cz&p1=1&p2=4%20>>

[citováno 12. prosince 2009]

- [8] *Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu*, TP 81 CDV Brno, 1996, ISBN 80-902141-2-6

- [9] Statistika dopravních prostředků

URL:< <http://www.mdcr.cz/cs/.../Odbory/.../Statistika?dopravni ?prostredkyCR.csv>>

[citováno 26. prosince 2009]

[10] Popis programovacího prostředí WITTNES

URL:< <http://www.uspornajizda.cz/.../jak-u-etrit-palivo/krizovatky/index.php> >

[citováno 21. března 2010]

[11] Ceny pohonných hmot

URL:<http://www.ccs.cz/.../?action=rady_PHM&SID=e7g1qedsqgfqn37qt9hn15tvvk5buq0b&sign=09c8f041c388ec054f959d9c3649dc45>

[citováno 21. března 2010]

[12] *Zákon č. 361/2000 Sb., o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů*

[13] Systémy hromadné obsluhy

URL:< http://homen.vsb.cz/~s1i95/MaSvD/SHO_1.pdf>

[citováno 1. března 2010]

[14] Andres, J. *Zásady bezpečného utváření pozemních komunikací*. 1. vyd., CDV Brno, 2001, 147 s., ISBN 80-86502-00-7

[15] Humusoft, *WITNESS: Úvod do použití*, Humusoft, 2006, 39 s.

[16] Světelné signalizační zařízení

URL:<http://cs.wikipedia.org/wiki/Sv%C4%9Bteln%C3%A9_signaliza%C4%8Dn%C3%AD_za%C5%99%C3%ADzen%C3%AD >

[citováno 20. února 2010]

[17] Teorie - semafor

URL:< <http://mereni.souepl.cz/.../semafor.pdf>>

[citováno 20. února 2010]

SEZNAM PŘÍLOH

- PŘÍLOHA Č. 1. Intenzity dopravních proudů
- PŘÍLOHA Č. 2. Tabulky mezičasů
- PŘÍLOHA Č. 3. Tabulky mezičasů mezi jednotlivými fázemi
- PŘÍLOHA Č. 4. Simulační model – Přiložen na CD

PŘÍLOHA Č. 1. Intenzity dopravních proudů

Tab. č. p. 1: Intenzity dopravních proudů - 28. října od centra

[voz./čas]	28.října od Centra											
	P				S				L			
	UT	ST	ČT	Φ	UT	ST	ČT	Φ	UT	ST	ČT	Φ
15-09 (7.-9.4. 2009)												
(13:30-13:40)	24	20	16	20	92	66	85	81	8	17	7	11
(13:40-13:50)	28	30	30	29	71	88	64	74	11	11	15	12
(13:50-14:00)	23	32	22	26	63	71	70	68	12	7	6	8
(14:00-14:10)	29	29	25	28	84	82	94	87	9	28	13	17
(14:10-14:20)	15	21	19	18	84	74	72	77	14	15	9	13
(14:20-14:30)	16	20	33	23	79	76	80	78	9	8	10	9
(14:30-14:40)	28	32	23	28	86	82	81	83	10	14	11	12
(14:40-14:50)	26	16	26	23	87	82	78	82	14	14	7	12
(14:50-15:00)	29	28	28	28	85	75	77	79	10	10	9	10
(15:00-15:10)	20	20	33	24	74	74	87	78	7	22	15	15
(15:10-15:20)	25	29	27	27	72	97	92	87	11	15	15	14
(15:20-15:30)	23	24	32	26	72	101	85	86	12	15	7	11
(15:30-15:40)	29	35	29	31	84	78	81	81	5	9	7	7
(15:40-15:50)	34	23	29	29	90	87	68	82	11	14	9	11
(15:50-16:00)	23	25	17	22	92	97	70	86	8	7	8	8
21-09 (19.-21.5. 2009)												
(13:30-13:40)	19	16	27	21	68	66	57	64	9	6	7	7
(13:40-13:50)	19	27	22	23	65	53	91	70	17	10	13	13
(13:50-14:00)	10	20	20	17	62	66	61	63	8	15	5	9
(14:00-14:10)	23	27	25	25	86	60	69	72	6	9	9	8
(14:10-14:20)	16	23	22	20	86	72	57	72	4	11	4	6
(14:20-14:30)	28	16	25	23	74	72	71	72	15	4	6	8
(14:30-14:40)	31	30	23	28	77	64	81	74	12	8	2	7
(14:40-14:50)	21	32	18	24	71	67	72	70	13	6	9	9
(14:50-15:00)	29	37	21	29	75	81	62	73	14	6	1	7
(15:00-15:10)	19	9	23	17	91	72	71	78	10	9	8	9
(15:10-15:20)	27	32	18	26	83	68	78	76	10	6	8	8
(15:20-15:30)	29	21	24	25	66	77	63	69	17	2	12	10
(15:30-15:40)	24	25	18	22	78	63	66	69	9	8	5	7
(15:40-15:50)	19	27	27	24	79	70	68	72	8	8	7	8
(15:50-16:00)	27	22	19	23	68	72	62	67	10	12	4	9
38-09 (15.-17.9. 2009)												
(13:30-13:40)	29	27	21	26	69	60	66	65	12	11	10	11
(13:40-13:50)	20	23	36	26	62	72	70	68	16	9	11	12
(13:50-14:00)	15	24	23	21	68	69	90	76	5	6	13	8
(14:00-14:10)	36	15	30	27	92	84	74	83	12	11	6	10
(14:10-14:20)	25	21	26	24	71	82	89	81	13	9	14	12
(14:20-14:30)	30	27	31	29	71	83	89	81	6	13	17	12
(14:30-14:40)	28	17	26	24	69	86	89	81	10	15	17	14
(14:40-14:50)	26	25	27	26	62	80	88	77	10	9	12	10
(14:50-15:00)	14	26	28	23	40	71	76	62	5	14	13	11
(15:00-15:10)	24	16	30	23	74	82	79	78	5	13	9	9
(15:10-15:20)	22	14	22	19	65	84	84	78	9	9	11	10
(15:20-15:30)	33	29	24	29	81	74	77	77	16	10	9	12
(15:30-15:40)	32	29	19	27	88	79	81	83	12	8	16	12
(15:40-15:50)	29	27	24	27	83	69	76	76	9	8	13	10
43-09 (20.-22.10. 2009)												
(13:30-13:40)	14	21	11	15	68	72	54	65	12	9	17	13
(13:40-13:50)	19	28	23	23	69	84	56	70	8	13	6	9
(13:50-14:00)	27	17	20	21	87	72	69	76	17	14	14	15
(14:00-14:10)	28	19	19	22	80	76	72	76	11	18	17	15
(14:10-14:20)	27	30	21	26	68	74	77	73	7	10	10	9
(14:20-14:30)	23	20	25	23	71	94	81	82	13	12	7	11
(14:30-14:40)	19	24	26	23	64	92	84	80	5	7	11	8
(14:40-14:50)	30	24	16	23	96	66	85	82	13	10	14	12
(14:50-15:00)	22	20	27	23	66	88	75	76	10	8	15	11
(15:00-15:10)	27	21	24	24	89	72	87	83	12	7	9	9
(15:10-15:20)	27	26	28	27	77	84	95	85	11	14	10	12
(15:20-15:30)	21	26	17	21	87	89	86	87	8	10	9	9
(15:30-15:40)	24	25	27	25	74	78	71	74	14	8	8	10
(15:40-15:50)	25	31	23	26	81	91	83	85	16	3	10	10
(15:50-16:00)	27	13	34	25	70	80	76	75	8	13	13	11

Tab. č. p.2: Intenzity dopravních proudů - Novinářská

[voz./čas]	Novinářská											
	P				S				L			
	UT	ST	CT	Φ	UT	ST	CT	Φ	UT	ST	CT	Φ
15-09 (7.-9.4. 2009)												
(13:30-13:40)	37	26	46	36	48	59	81	63	16	18	20	18
(13:40-13:50)	37	21	31	28	53	57	59	56	15	19	20	18
(13:50-14:00)	45	25	35	35	61	57	48	55	16	18	22	19
(14:00-14:10)	32	46	32	37	52	55	49	52	15	17	21	18
(14:10-14:20)	18	32	34	28	58	53	44	52	13	15	15	14
(14:20-14:30)	38	31	36	35	56	63	68	62	18	24	13	18
(14:30-14:40)	40	31	35	35	56	52	58	55	18	10	15	14
(14:40-14:50)	32	49	32	38	56	67	58	60	21	19	21	20
(14:50-15:00)	32	32	39	34	50	76	69	65	18	16	19	18
(15:00-15:10)	35	39	44	39	73	75	76	75	21	21	20	21
(15:10-15:20)	47	39	32	39	54	69	62	62	21	20	19	20
(15:20-15:30)	31	25	27	28	54	67	68	63	16	16	15	16
(15:30-15:40)	32	41	44	39	62	61	55	59	17	15	18	17
(15:40-15:50)	23	29	31	28	63	65	55	61	20	18	21	20
(15:50-16:00)	23	40	34	32	60	74	50	61	11	17	18	15
21-09 (19.-21.5. 2009)												
(13:30-13:40)	32	37	25	31	61	74	53	63	16	17	21	18
(13:40-13:50)	37	30	32	33	55	53	56	55	26	12	16	18
(13:50-14:00)	31	37	37	35	65	60	65	63	19	11	22	17
(14:00-14:10)	29	47	30	35	58	77	64	66	21	28	21	23
(14:10-14:20)	38	39	40	39	74	63	56	64	15	9	16	13
(14:20-14:30)	31	33	35	33	55	62	59	59	16	14	12	14
(14:30-14:40)	28	32	32	31	64	57	59	60	15	18	17	17
(14:40-14:50)	36	35	25	32	71	63	52	62	15	15	21	17
(14:50-15:00)	30	28	30	29	77	68	56	67	17	20	17	18
(15:00-15:10)	33	36	21	30	68	63	74	68	21	29	18	23
(15:10-15:20)	34	29	41	35	65	66	77	69	15	20	10	15
(15:20-15:30)	40	29	34	34	79	66	53	66	20	20	10	17
(15:30-15:40)	38	36	27	34	71	70	68	70	19	17	20	19
(15:40-15:50)	48	25	37	37	85	65	59	70	18	22	19	20
(15:50-16:00)	29	29	31	30	65	56	62	61	18	15	19	17
38-09 (15.-17.9. 2009)												
(13:30-13:40)	40	28	29	32	57	53	62	57	18	12	23	18
(13:40-13:50)	34	24	42	33	59	57	52	56	16	11	16	14
(13:50-14:00)	36	30	31	32	63	55	54	57	13	14	18	15
(14:00-14:10)	34	40	43	39	54	44	70	56	19	14	20	18
(14:10-14:20)	33	42	38	38	55	63	38	52	20	15	14	16
(14:20-14:30)	52	33	37	41	64	46	52	54	15	17	20	17
(14:30-14:40)	36	29	44	36	64	46	49	53	11	20	19	17
(14:40-14:50)	32	40	42	38	54	56	34	48	14	18	16	16
(14:50-15:00)	42	35	47	41	48	78	62	63	15	18	19	17
(15:00-15:10)	29	35	33	32	75	51	76	67	21	14	20	18
(15:10-15:20)	48	59	42	50	69	62	55	62	14	14	19	16
(15:20-15:30)	40	33	29	34	62	64	56	61	18	22	12	17
(15:30-15:40)	49	36	40	42	61	52	63	59	20	15	19	18
(15:40-15:50)	47	25	40	37	57	62	44	54	16	16	15	16
43-09 (20.-22.10. 2009)												
(13:30-13:40)	39	26	25	30	71	52	59	61	19	21	21	20
(13:40-13:50)	32	37	41	37	68	52	75	65	20	14	13	16
(13:50-14:00)	33	24	34	30	59	66	71	65	22	19	17	19
(14:00-14:10)	36	26	29	30	60	59	62	60	18	22	13	18
(14:10-14:20)	32	35	43	37	51	56	60	56	17	17	14	16
(14:20-14:30)	38	26	28	31	67	69	58	65	14	19	15	16
(14:30-14:40)	33	40	40	38	62	73	58	64	19	21	20	20
(14:40-14:50)	45	24	29	33	64	57	61	61	16	16	20	17
(14:50-15:00)	31	45	36	37	70	70	59	66	21	16	20	19
(15:00-15:10)	36	41	38	38	70	70	68	69	21	18	17	19
(15:10-15:20)	35	35	45	38	73	73	83	76	25	20	21	22
(15:20-15:30)	32	39	36	36	53	63	70	62	25	21	18	21
(15:30-15:40)	37	37	42	39	71	71	61	68	25	25	8	19
(15:40-15:50)	39	31	37	36	68	67	70	68	18	18	14	17
(15:50-16:00)	44	38	39	40	83	65	65	71	15	13	20	16

Tab. č. p.3: Intenzity dopravních proudů - 28. října od Poruby

[voz./čas]	28.října od Poruby							
	P+S				L			
	UT	ST	CT	Φ	UT	ST	CT	Φ
15-09 (7.-9.4. 2009)								
[13:30-13:40]	91	98	93	94	17	28	25	23
[13:40-13:50]	83	90	90	88	31	24	24	26
[13:50-14:00]	82	85	93	87	20	39	17	25
[14:00-14:10]	110	77	98	95	31	44	31	35
[14:10-14:20]	87	95	91	91	31	42	33	35
[14:20-14:30]	79	103	99	94	19	50	31	33
[14:30-14:40]	108	103	92	101	20	44	31	32
[14:40-14:50]	92	95	95	94	30	19	25	25
[14:50-15:00]	103	97	89	96	23	25	31	26
[15:00-15:10]	95	103	100	99	36	34	34	35
[15:10-15:20]	88	99	93	93	19	34	32	28
[15:20-15:30]	79	103	86	89	29	29	31	30
[15:30-15:40]	94	110	75	93	41	27	28	32
[15:40-15:50]	81	90	91	87	32	34	32	33
[15:50-16:00]	80	89	86	85	40	34	25	33
21-09 (19.-21.5. 2009)								
[13:30-13:40]	67	74	74	72	31	32	25	29
[13:40-13:50]	91	78	81	83	32	27	32	30
[13:50-14:00]	81	90	88	86	23	30	39	31
[14:00-14:10]	87	85	68	80	26	31	32	30
[14:10-14:20]	79	77	88	81	25	32	30	29
[14:20-14:30]	84	85	71	80	47	37	31	38
[14:30-14:40]	82	85	84	84	31	25	32	29
[14:40-14:50]	93	95	74	88	23	30	30	28
[14:50-15:00]	92	83	93	89	30	20	33	28
[15:00-15:10]	86	87	77	83	38	26	29	31
[15:10-15:20]	73	77	77	76	29	30	25	28
[15:20-15:30]	97	97	71	88	27	43	25	32
[15:30-15:40]	78	90	80	83	36	31	33	33
[15:40-15:50]	86	89	98	91	24	35	32	30
[15:50-16:00]	96	95	73	88	35	30	24	30
38-09 (15.-17.9. 2009)								
[13:30-13:40]	87	80	93	87	16	29	21	22
[13:40-13:50]	99	94	102	98	28	27	30	28
[13:50-14:00]	107	84	106	99	28	29	30	29
[14:00-14:10]	101	117	107	108	35	29	30	31
[14:10-14:20]	87	104	98	96	26	41	29	32
[14:20-14:30]	85	98	94	92	25	26	30	27
[14:30-14:40]	81	79	98	86	30	23	25	26
[14:40-14:50]	110	98	103	104	29	23	36	29
[14:50-15:00]	107	98	127	111	38	38	29	35
[15:00-15:10]	105	108	110	108	28	28	21	26
[15:10-15:20]	108	121	107	112	30	31	28	30
[15:20-15:30]	104	104	110	106	25	24	35	28
[15:30-15:40]	105	106	90	100	33	38	34	35
[15:40-15:50]	127	104	103	111	25	34	28	29
43-09 (20.-22.10. 2009)								
[13:30-13:40]	101	103	92	99	34	30	31	32
[13:40-13:50]	103	108	92	101	27	20	42	30
[13:50-14:00]	103	110	96	103	28	38	30	32
[14:00-14:10]	116	122	107	115	35	35	30	33
[14:10-14:20]	94	106	94	98	28	33	39	33
[14:20-14:30]	96	121	103	107	35	29	22	29
[14:30-14:40]	125	106	102	111	28	38	25	30
[14:40-14:50]	107	92	113	104	37	39	31	36
[14:50-15:00]	114	91	93	99	40	30	26	32
[15:00-15:10]	107	111	113	110	31	32	29	31
[15:10-15:20]	107	106	101	105	30	35	34	33
[15:20-15:30]	116	119	100	112	37	37	39	38
[15:30-15:40]	108	103	111	107	26	33	41	33
[15:40-15:50]	112	106	111	110	43	36	32	37
[15:50-16:00]	114	107	85	102	41	26	46	38

Tab. č. p.4: Intenzity dopravních proudů - Výstavní

[voz./čas]	Výstavní							
	P+S				L			
	UT	ST	ČT	Φ	UT	ST	ČT	Φ
15-09 (7.-9.4. 2009)								
(13:30-13:40)	54	58	55	56	10	17	16	14
(13:40-13:50)	60	59	37	52	14	15	10	13
(13:50-14:00)	49	68	41	53	11	14	6	10
(14:00-14:10)	58	52	62	57	16	16	12	15
(14:10-14:20)	60	73	71	68	15	14	19	16
(14:20-14:30)	75	78	75	76	15	11	17	14
(14:30-14:40)	53	64	68	62	8	14	15	12
(14:40-14:50)	65	62	62	63	18	16	9	14
(14:50-15:00)	63	60	73	65	12	22	12	15
(15:00-15:10)	52	64	73	63	16	15	16	16
(15:10-15:20)	82	77	62	74	13	19	17	16
(15:20-15:30)	55	66	63	61	18	10	10	13
(15:30-15:40)	45	66	59	57	10	21	19	17
(15:40-15:50)	72	50	63	62	14	19	16	16
(15:50-16:00)	52	56	58	55	14	16	17	16
21-09 (19.-21.5. 2009)								
(13:30-13:40)	61	62	63	62	13	13	18	15
(13:40-13:50)	51	54	50	52	11	9	17	12
(13:50-14:00)	64	58	59	60	12	9	15	12
(14:00-14:10)	61	57	59	59	21	13	9	14
(14:10-14:20)	83	54	72	70	17	8	14	13
(14:20-14:30)	73	70	69	71	13	13	14	13
(14:30-14:40)	75	55	48	59	13	17	18	16
(14:40-14:50)	61	64	68	64	14	12	12	13
(14:50-15:00)	73	63	73	70	15	14	19	16
(15:00-15:10)	74	79	76	76	15	24	10	16
(15:10-15:20)	71	72	75	73	7	10	13	10
(15:20-15:30)	67	61	66	65	17	9	19	15
(15:30-15:40)	69	70	67	69	24	16	16	19
(15:40-15:50)	72	64	72	69	11	11	13	12
(15:50-16:00)	49	59	63	57	12	17	9	13
38-09 (15.-17.9. 2009)								
(13:30-13:40)	47	46	66	53	14	14	12	13
(13:40-13:50)	49	50	51	50	18	13	12	14
(13:50-14:00)	45	53	58	52	21	9	8	13
(14:00-14:10)	78	49	66	64	12	11	12	12
(14:10-14:20)	59	66	50	58	12	13	14	13
(14:20-14:30)	67	62	60	63	13	7	13	11
(14:30-14:40)	63	58	61	61	18	10	15	14
(14:40-14:50)	54	53	47	51	16	10	10	12
(14:50-15:00)	51	62	58	57	12	18	11	14
(15:00-15:10)	69	50	69	63	18	14	18	17
(15:10-15:20)	63	56	51	57	14	10	15	13
(15:20-15:30)	54	59	53	55	16	10	12	13
(15:30-15:40)	64	59	61	61	18	16	15	16
(15:40-15:50)	61	60	44	55	12	13	7	11
43-09 (20.-22.10. 2009)								
(13:30-13:40)	53	54	47	51	11	17	17	15
(13:40-13:50)	71	52	62	62	19	11	21	17
(13:50-14:00)	45	65	54	55	10	17	12	13
(14:00-14:10)	68	66	58	64	16	13	13	14
(14:10-14:20)	70	77	70	72	22	16	17	18
(14:20-14:30)	52	62	66	60	21	17	18	19
(14:30-14:40)	66	69	84	73	16	17	16	16
(14:40-14:50)	61	59	76	65	17	18	14	16
(14:50-15:00)	56	66	67	63	18	18	21	19
(15:00-15:10)	79	70	72	74	17	18	19	18
(15:10-15:20)	54	55	58	56	16	9	16	14
(15:20-15:30)	51	62	69	61	16	16	19	17
(15:30-15:40)	74	60	60	65	11	10	9	10
(15:40-15:50)	66	78	62	69	22	20	10	17
(15:50-16:00)	71	50	48	56	18	13	16	16

PŘÍLOHA Č. 2. Tabulky mezičasů

Tab. č. p. 5: Tabulka mezičasů „28 října - od centra“

Délkové parametry [m]

Časové parametry [s]

Najíždí	Vyklizuje	
	VG	VB2
Lv	52.89	49.19
Ln	30.80	29.80
vv	7.00	9.70
vn	7.00	7.00
lvoz	5.00	5.00
tv	8.27	5.59
tn	4.40	4.26
tb	2.00	2.00
tm	5.87	3.33
tmskut	6.00	4.00

Najíždí	Vyklizuje				
	VD_2	VD_3	VC	VB_1	VB_2
Lv	43.22	25.98	27.01	12.16	18.21
Ln	49.90	20.90	27.88	31.10	23.58
vv	9.70	7.00	9.00	7.00	9.70
vn	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
lvoz	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
tv	4.97	4.43	3.56	2.45	2.39
tn	7.13	2.99	3.98	4.44	3.37
tb	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
tm	-0.16	3.44	1.57	0.01	1.02
tmskut	0.00	4.00	2.00	1.00	2.00

Najíždí	Vyklizuje					
	VD_1	VD_2	VD_3	VG	VB_1	VB_2
Lv	30.52	16.71	17.68	26.96	36.78	29.00
Ln	37.78	25.68	17.85	25.21	38.28	18.65
vv	7.00	9.70	7.00	7.00	7.00	9.70
vn	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70
lvoz	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
tv	5.07	2.24	3.24	4.57	5.97	3.51
tn	3.89	2.65	1.84	2.60	3.95	1.92
tb	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
tm	3.18	1.59	3.40	3.97	4.02	3.58
tmskut	4.00	2.00	4.00	4.00	5.00	4.00

Tab. č. p. 6: Tabulka mezičasů „Novinářská“

Najíždí	Vyklizuje	
	VB_1	VA_1
Lv	34.71	39.99
Ln	24.12	26.96
vv	7.00	9.70
vn	7.00	7.00
lvoz	5.00	5.00
tv	5.67	4.64
tn	3.45	3.85
tb	2.00	2.00
tm	4.23	2.79
tmskut	5.00	3.00

Najíždí	Vyklizuje				
	VD_3	VC	VF	VB_2	VG
Lv	33.44	22.14	22.13	21.28	29.36
Ln	34.07	25.71	23.63	16.32	13.72
vv	9.70	7.00	9.70	9.70	7.00
vn	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
lvoz	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
tv	3.96	3.88	2.80	2.71	4.91
tn	4.87	3.67	3.38	2.33	1.96
tb	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
tm	1.10	2.20	1.42	2.38	4.95
tmskut	2.00	3.00	2.00	3.00	5.00

Tab. č. p. 6: Tabulka mezičasů „Novinářská - pokračování“

Najíždí	Vyklizuje				
VD_2	VF	VC	VB_1	VG	VA_1
Lv	40.61	20.68	18.61	20.75	26.32
Ln	40.11	31.57	28.30	26.84	17.39
vv	7.00	9.70	7.00	7.00	9.70
vn	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70
lvoz	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
tv	6.52	2.65	3.37	3.68	3.23
tn	4.14	3.25	2.92	2.77	1.79
tb	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
tm	4.38	1.39	2.46	2.91	3.44
tmskut	5.00	2.00	3.00	3.00	4.00

Tab. č. p.7: Tabulka mezičasů „28 října - od Poruby“

Najíždí	Vyklizuje					
VG	VA_2	VB_2	VD_3	VA_1	VD_2	VB_1
Lv	24.30	42.23	40.04	25.17	18.07	26.17
Ln	42.00	40.35	33.16	24.32	22.66	12.71
vv	7.00	9.70	7.00	9.70	9.70	7.00
vn	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
lvoz	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
tv	4.19	4.87	6.43	3.11	2.38	4.45
tn	6.00	5.76	4.74	3.47	3.24	1.82
tb	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	2.00
tm	0.19	1.10	3.70	1.64	2.14	4.64
tmskut	1.00	2.00	4.00	2.00	3.00	5.00

Najíždí	Vyklizuje				
VC	VD_3	VB_2 max	VF	VD_2	VB_1
Lv	37.75	17.12	28.09	32.19	16.28
Ln	36.03	31.02	23.44	20.31	19.47
vv	7.00	7.00	7.00	9.70	7.00
vn	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70
lvoz	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
tv	6.11	3.16	4.73	3.83	3.04
tn	3.71	3.20	2.42	2.09	2.01
tb	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
tm	4.39	1.96	4.31	3.74	3.03
tmskut	5.00	2.00	5.00	4.00	4.00

Tab. č. p.8: Tabulka mezičasů „28 Výstavní“

<i>Najíždí</i>	<i>Vyklizuje</i>					
VB_1	VD_3	VA_1	VG	VC	VD_2	VF
Lv	29.45	45.63	14	19.44	33.79	32.18
Ln	39.60	39.38	25.42	16.30	14.17	12.71
vv	7.00	9.70	7.00	9.70	9.70	7.00
vn	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
lvoz	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
tv	4.92	5.22	2.71	2.52	4.00	5.31
tn	5.66	5.63	3.63	2.33	2.02	1.82
tb	2.00	2.00	2.00	2.00	3.00	2.00
tm	1.26	1.59	1.08	2.19	4.97	5.50
tmskut	2.00	2.00	2.00	3.00	5.00	6.00

<i>Najíždí</i>	<i>Vyklizuje</i>					
VB_2	VA_2	VG	VA_1	VD_3	VF	VC
Lv	28.15	37.82	18.49	25.81	23.23	27.42
Ln	47.84	35.68	29.17	22.07	21.39	13.77
vv	7.00	7.00	9.70	7.00	7.00	9.70
vn	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70	9.70
lvoz	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
tv	4.74	6.12	2.42	4.40	4.03	3.34
tn	4.93	3.68	3.01	2.28	2.21	1.42
tb	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
tm	1.80	4.44	1.41	4.13	3.83	3.92
tmskut	2.00	5.00	2.00	5.00	4.00	4.00

PŘÍLOHA Č. 3. Tabulky mezičasů mezi jednotlivými fázemi

Tab. č. p.9: Mezičasy mezi jednotlivými fázemi

1->2	vC	4	1->3	vB_2	vD_1	vD_2
vA_1	4		vC	2		4
vA_2	6		vA_1	4	4	2
t _{m12}	6		vA_2	4		
			t _{m13}	4		
2->1	vC	vA_1	vA_2			
vG		2	1			
vF	2					
t _{m21}	2					
3->1	vC	vA_1	vA_2			
vB_2	4	2	2			
vD_1		3				
vD_2	2	4				
t _{m31}	4					
4->1	vC	vA_1	vA_2			
vB_1	3	2				
vD_3	2	2				
t _{m41}	3					
1->4	vC	vB_1	vD_3			
vA_1	4	5	4			
vA_2						
t _{m14}	5					
2->4	vG	vB_2	vD_1			
vF	2	2				
t _{m24}	2					
3->4	vB_2	vB_1	vD_3			
vD_1		5	5			
vD_2		3				
t _{m34}	5					
4->3	vB_1	vB_2	vD_1	vD_2		
vD_3		2		5		
t _{m43}						
1->3	vC	vB_2	vD_1	vD_2		
vA_1	2			4		
vA_2	4	4	4	2		
t _{m13}	4					
2->3	vG	vB_2	vD_1	vD_2		
vF	2			3		
t _{m23}	2			0		
3->2	vG	vF				
vB_2	5	4				
vD_1						
vD_2	3	5				
t _{m32}	5					
4->2	vG	vF				
vB_1	2	6				
vD_3	5	3				
t _{m42}	6					